radio PRAKTIKER bücherei

GUSTAV BÜSCHER

Kleines ABC der Elektroakustik

A
Absoluter Kegel
Absorptionskoeffizient
Akustische Rückkopplung
Akustischer Kurzschluß
Akustischer Scheinwiderst...
Akustischer Widerstand
Akustisches Labyrinth
Amplitude
Amplitudenmodulat...
Anpassung
A-Schaltung

B
B...ndchen-Lautsp...
B...ndchen-Mikro...
Bandfilter, Band...
Bar
Baßanhebung
Bauakustik
B...l
B...de-Melochord
B...eitband-Lautsp...
B-Schaltung

D
D...mpfung
Dämpfungsglieder
D...mpfungsmaße
Dämpfungsverhältnis
D...zibel
Dopplersches Prinzip
D...namik
D...namikregelung

E
Ele... Musik
...scher Lautsprecher
...cher Lautsprecher
...autsprecher
...des Ohres

...nalls

H
Hammond-Orgel
Harmonische Obertöne

I
Infraschall
Interferenz
Internationale Stimmung

K
Kammerton
Kerrzelle
Kettenleiter
Klang
Klangblende
Klangfarbe
...gemisch
...ler

...fon
...onsmikrofon
...ofon

...all
...utsprecher
...stallmikrofone
Kristallabnehmer
Kugelwellen

L
Langspielplatte
Lärm
Lautheit
Lautsprecher
Lautsprecher-Anpassung
Lautstärke
Lautstärken-Regelung

29/30

FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN



Kleines ABC der Elektroakustik

Von

GUSTAV BÜSCHER

Mit 120 Bildern



FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

Heft 29/30 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Zeichnungen nach Angaben des Verfassers
und nach Unterlagen von Philips, Rohde & Schwarz, Siemens,
Telefunken u. a.

1951

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 2, Luisenstr. 17

Vorwort

Der Inhalt des vorliegenden Bändchens richtet sich an alle, die sich mit elektroakustischen Fragen zu beschäftigen haben, bzw. an jene, die sich über den Fragenkomplex schnell und ohne viel Mühe unterrichten wollen. Inbesondere mag es alten und jungen Funktechnikern willkommene Unterstützung sein.

Das Bändchen will Grundbegriffe der Elektroakustik auf leicht verständliche Weise erläutern, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu machen. Die alphabetische Ordnung wurde gewählt, damit der Leser schnell das im Augenblick interessierende Thema zu kurzer Orientierung herausgreifen kann. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wurde vermieden, mehr Begriffe als unbedingt erforderlich in Form von Stichworten aufzunehmen.

Als griffbereites kleines Nachschlagewerk gibt es schnellen Aufschluß über Zahlenwerte, die einem nicht immer gegenwärtig sind; Tabellen ergänzen den Inhalt.

Verbesserungsvorschläge nehmen Verlag und Verfasser gerne entgegen, damit die Broschüre in neuen Auflagen möglichst allen Wünschen gerecht werden kann.

Im Winter 1951 Gustav Büscher

A

Absoluter Pegel siehe unter Dämpfung.

Absorptionskoeffizient siehe unter Raumakustik.

Akustischer Kurzschluß siehe unter Lautsprecher.

Akustisches Labyrinth siehe unter Mikrofone.

Akustische Rückkopplung. Befinden sich Mikrofon und Lautsprecher im gleichen Raum, so können die vom Lautsprecher ausgehenden Schallwellen auf das Mikrofon in unerwünschter Weise rückwirken. Der Vorgang wiederholt sich pendelnd, ähnlich wie bei der elektrischen Rückkopplung in Rundfunkempfängern. Das Ergebnis ist ein unangenehmer Heulton, dem jedoch durch geschickte räumliche Anordnung von Mikrofon und Lautsprecher begegnet werden kann: Es muß nur vermieden werden, daß die vom Lautsprecher ausgehenden Schallwellen das Mikrofon *direkt* treffen. Man kann das u. U. durch eine akustische Abschirmung des Mikrofons erreichen.

Die akustische Rückkopplung tritt in älteren Empfangsgeräten auf, wenn die vom Lautsprecher ausgehenden Schallwellen den Faden einer Röhre treffen und ihn in mechanische Schwingungen gleicher Frequenz versetzen, die wiederum den Lautsprecher beeinflussen. Moderne Röhren sind so konstruiert, daß sie diesen Beeinflussungen nicht unterliegen.

Akustischer Scheinwiderstand. Verhältnis Z des Schalldrucks p zum Schallfluß (Schallfluß gleich Schallschnelle mal Strömungsquerschnitt = s · F).

Demnach errechnet sich der akustische Scheinwiderstand zu

$$Z = \frac{p}{s \cdot F}$$

Siehe unter „Schalldruck“, „Schallfluß“, „Schallschnelle“.

Akustischer Widerstand gleichbedeutend mit Schallhärte. (Siehe diese.)

Amplitude. Volle Schwingungsweite.

Amplitudenmodulation. Die hochfrequente Welle eines Rundfunk-Senders (Trägerwelle) wird durch tonfrequente Schwingungen so beeinflußt, daß die *Hf-Amplituden* geändert werden (im Gegensatz dazu wird bei der FM-Modulation die *Frequenz* der Trägerwelle Änderungen durch die Tonfrequenzen unterworfen).

Anpassung (Lautsprecher-Anpassung) s. u. Lautsprecher.

A-Verstärker siehe unter Verstärker.

B

Bändchen-Lautsprecher siehe unter Lautsprecher.

Bändchen-Mikrofon siehe unter Mikrofon.

Bandpaß siehe unter Pässe.

Bar (B), Druckmaß (wird in USA noch angewandt), bei uns nur Teilwerte: das Millibar (mbar) und das Mikrobar (μbar). (Siehe unter „Millibar".)

Baßanhebung. Schalttechnische Anordnung zur „Anhebung" der tiefen Tonfrequenzen (Bässe), die im allgemeinen nicht so gut wiedergegeben werden, wie die mittleren Tonfrequenzen. Ein weiterer Grund zur Einführung der Baßanhebung liegt in den Eigentümlichkeiten des menschlichen Ohres. Ein Orchesterkonzert ist im Original viel lauter, als bei der Wiedergabe durch ein Rundfunkgerät im Zimmer. Je mehr die ursprüngliche Lautstärke vermindert wird, desto mehr treten in der menschlichen Empfindung die tiefen Töne gegen die höheren zurück. Näheres über die Technik der Baßanhebung siehe unter „Verstärker" (Gegenkopplung).

Bauakustik siehe unter Raumakustik.

Bel (b), Lautstärkeeinheit. In Deutschland kaum verwendet; hier ist die kleinere Einheit das Dezibel (db) gleich $^1/_{10}$ Bel üblich. (Siehe unter Dezibel).

Bode-Melochord siehe unter Elektrische Musik.

Breitband-Lautsprecher siehe unter Lautsprecher.

B-Schaltung siehe unter Verstärker.

D

Dämpfung gleichbedeutend mit „Schwingungsabfall" (=negative Verstärkung).

Dämpfungsglieder. Mittel zur Herabsetzung von bestimmten Spannungen, Strömen oder Leistungen auf Bruchteile ihres Wertes (bei beliebiger Frequenz). Ein einfaches Dämpfungsglied ist z. B. das Potentiometer. Wichtiger sind die Kettenleiter, Zusammenschaltungen von Widerständen bestimmter Anordnungen (siehe unter „Kettenleiter").

Dämpfungsmaße. Dezibel (abgekürzt db) und Neper (abgekürzt N). (Siehe diese).

Dämpfungsverhältnis. Das Verhältnis von zwei um eine Periode auseinanderliegenden Amplitudenwerten.

Dezibel (db). Das Dezibel (= $^1/_{10}$ Bel) ist keine Maßeinheit wie etwa das Meter oder das Gramm. Es läßt lediglich das *Verhältnis* zweier gemessener Werte zueinander erkennen (Spannungen, Ströme oder Leistungen). Zum Beispiel wird am Ausgang eines Spannungsverstärkers eine bestimmte Spannung gemessen; am Eingang wird eine andere, niedrigere Spannung ermittelt. Das Verhältnis der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung beträgt im Beispiel vielleicht

1 zu 1 000, entsprechend einer Verstärkung um das Tausendfache. — Das Dezibel gibt dieses Verhältnis nicht im natürlichen Zahlensystem, sondern logarithmisch an (Logarithmus des Spannungsverhältnisses). Damit ergibt sich für Nichtmathematiker eine Schwierigkeit, die jedoch nach einigen Vorbemerkungen leicht zu überwinden ist.

Der mathematische Ausdruck 3^2 ist wie der Ausdruck 4^3 eine Potenz. Er besagt, daß die untere Zahl so oft mit sich selbst multipliziert werden soll, wie die obere Zahl angibt (im Falle 3^2 ist das Resultat $3 \cdot 3 = 9$, im zweiten Fall $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$). Den rechnerischen Vorgang nennt man „Potenzieren". Man erhebt eine Zahl in die 2te, 3te, 4te oder 100ste Potenz. Die Grundzahl nennt man „Basis", die hochgestellte Zahl heißt „Exponent" und das Resultat „Potenz".

In der Gleichung $3^2 = 9$ kann eine der drei Zahlen unbekannt sein, z. B. die 9. Da unbekannte Werte in der Mathematik mit x angegeben werden, würde eine erste Aufgabe lauten $3^2 = x$. Wir kennen das Resultat bereits.

Eine zweite Aufgabe würde so aussehen $x^2 = 9$. Das heißt, daß wir den Wert finden sollen, der zweimal mit sich selbst multipliziert 9 ergibt. Man formt die Gleichung um und schreibt $x = \sqrt[2]{9}$ (sprich: x gleich zweite Wurzel aus 9). Es ist das berühmte „Wurzelziehen" oder „Radizieren" (radix = die Wurzel). Die zweite Wurzel aus 25 ist z. B. 5, denn $5 \cdot 5 = 25$. Die dritte Wurzel aus 27 — niedergeschrieben $x = \sqrt[3]{27}$ — ist gleich 3 (Probe: $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$).

Eine dritte Möglichkeit sieht so aus: $3^x = 9$. Hier soll die Zahl gefunden werden, die angibt, wie oft die „Basis" 3 mit sich selbst multipliziert werden muß, damit sich 9 ergibt. (In diesem Beispiel ist $x = 2$, denn $3^2 = 9$). Die Aufgabe des Suchens nach dem Wert des „Exponenten", der hochgestellten Zahl, nennt man „Logarithmieren". („log" vor einer Zahl heißt „Logarithmus" dieser Zahl).

In den „Logarithmen"-Tafeln, mit deren Hilfe schwierige Rechnungen sehr erleichtert werden können, findet man in Zahlenkolonnen alle Werte von Exponenten, die zu einer

bestimmten Potenz gehören, wobei stillschweigend vorausgesetzt ist, daß die Basis stets 10 ist, z. B.:

$10^x = 10$	$x = 1$	$(10^1 = 10)$
$10^x = 100$	$x = 2$	$(10^2 = 100)$
$10^x = 1000$	$x = 3$	$(10^3 = 1000)$
$10^x = 10000$	$x = 4$	$(10^4 = 10000)$

Bei den Potenzwerten 10, 100, 1000 usw. ist die Rechnung einfach, es ergeben sich immer ganze Zahlen. Anders ist es bei Potenzwerten, wie z. B. 3 oder 4 oder 16 oder 50, d. h. also, wenn die Gleichungen wie folgt lauten: $10^x = 3$, bzw. $10^x = 4$, bzw. $10^x = 16$, bzw. $10^x = 50$.

Hier die Resultate:

$10^x = 3$	$x = 0{,}4771$	$(10^{0,4771} = 3)$
$10^x = 4$	$x = 0{,}6021$	$(10^{0,6021} = 4)$
$10^x = 16$	$x = 1{,}2041$	$(10^{1,2041} = 16)$
$10^x = 50$	$x = 1{,}6990$	$(10^{1,6990} = 50)$

Die gesuchten Werte kann man — nebenbei gesagt — aus den Logarithmentafeln direkt ablesen, wenn man in den Kolonnen bei 3 oder 4 oder 16 oder 50 nachsieht.

Bild 1 zeigt eine Schalldruckkurve (Frequenzkurve), d. h. eine Kennlinie, deren Verlauf das Verhältnis der von einem Lautsprecher abgegebenen Lautstärke zur jeweiligen Fre-

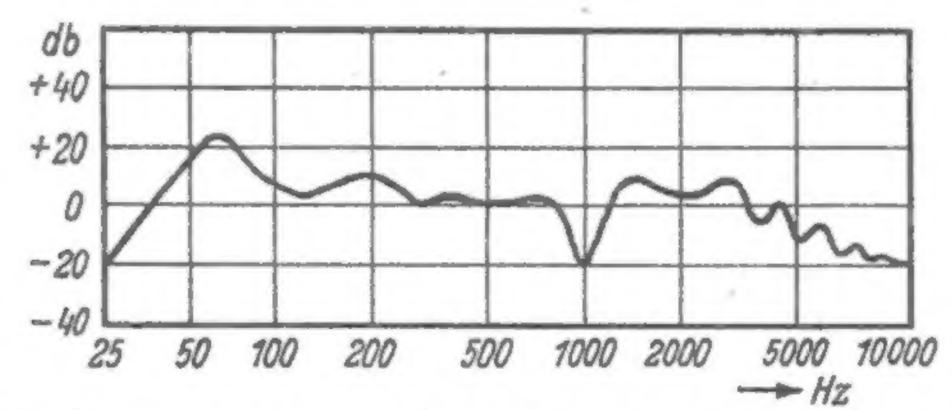


Bild 1. Schalldruckkurve eines Lautsprechers mit logarithmischer Unterteilung der Achsen

quenz angibt. Bei etwas über 60 Hertz liegt die höchste Lautstärke, die niedrigste bei einer Tonfrequenz von 1000 Hertz.

Die Waagerechte mit den Hertz-Werten ist nicht gleichmäßig, sondern *„logarithmisch"* unterteilt: Die Abstände 10 bis 100, 100 bis 1000, 1000 bis 10 000 sind gleich! Diese Auf-

teilung hat u. a. den Vorteil, daß jenes für das Ohr so wichtige Gebiet mit den Frequenzen unter 1000 Hz breit auseinandergezogen ist, während es bei der „linearen“ (normalen) Teilung der Waagerechten zu einem unbedeutenden Stück zusammengedrängt ist.

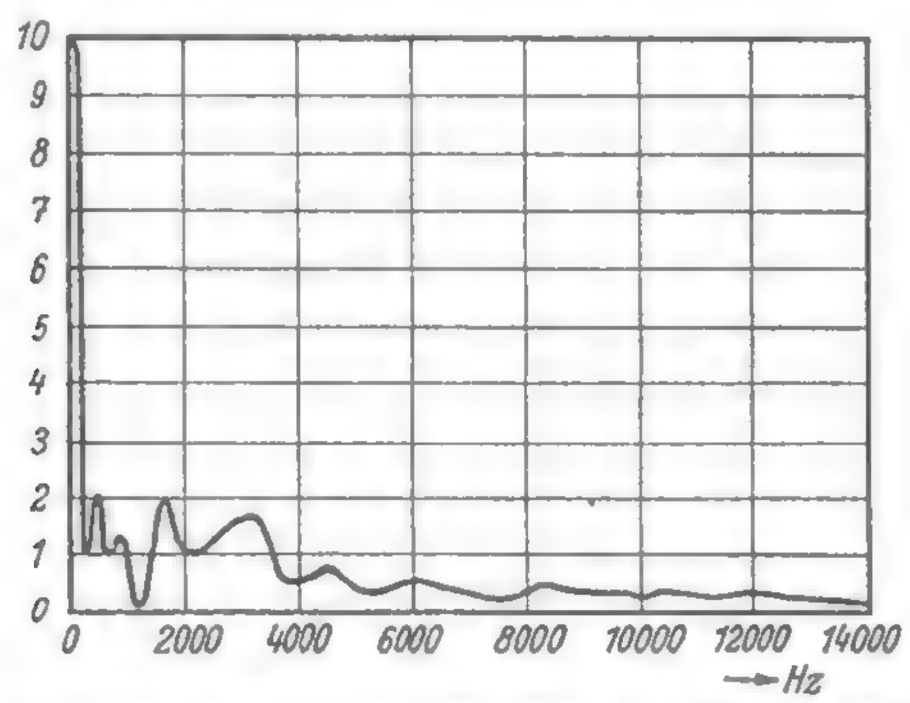


Bild 2. Schalldruckkurve des gleichen Lautsprechers wie bei Bild 1, jedoch mit linearer Unterteilung beider Achsen

Bei der „linearen“ Teilung, wie sie **Bild 2** zeigt, nimmt das Gebiet oberhalb von 5000 Hertz, das „tonlich“ gesprochen nur anderthalb Oktaven umfaßt, einen ungerechtfertigt großen Teil der Darstellung ein. Bei der logarithmischen Teilung zeigt die Frequenzkurve oberhalb von 5000 Hertz noch interessante Unregelmäßigkeiten, die bei der gewöhnlichen Teilungsmethode kaum mehr in Erscheinung treten.

Kehren wir zu den „Dezibel“ zurück, die wie gesagt, die Wertverhältnisse logarithmisch angeben. Hier sieht es ähnlich aus. Würde man „natürliche“ Verhältnis-Zahlenwerte bei der Schalldruckkurve verwenden **(Bild 3)**, dann zeichnen sich die wesentlichen Eigenschaften des untersuchten Gerätes lange nicht so klar ab, wie bei der Dezibel-Teilung der Senkrechten, die eine „logarithmische“ ist (siehe Kurvendarstellung Bild 1).

In Bezug auf Schalldruckkurven und Frequenzcharakteristiken bleibt zu erwähnen, daß der Null-Pegel (die Null-Linie) bei einem bestimmten Wert als Waagerechte gezogen

wird. Das geschieht leider nicht einheitlich, z. B. in Amerika an anderer Stelle, in anderer Höhe, als in Deutschland. Daher werden oft zusätzliche Hinweise bei den graphischen Darstellungen gegeben (siehe z. B. Bild 95).

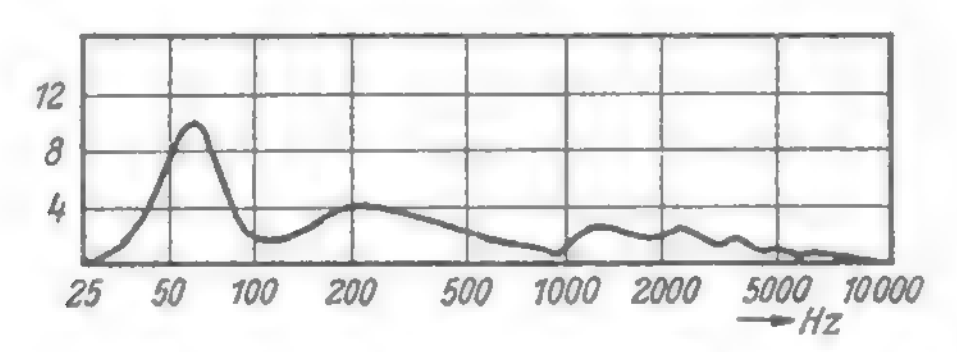


Bild 3. Schalldruckkurve des gleichen Lautsprechers wie bei Bild 1 und Bild 2, jedoch mit linearer Unterteilung der senkrechten Achse

Mit den Dezibel-Angaben werden nicht nur die Verstärkungsverhältnisse, seien sie bezogen auf Spannungen, Stromstärken oder Leistungen, gekennzeichnet, sondern auch Dämpfungen („negative" Verstärkungen). Da es sich immer um Verhältniszahlen handelt, lassen sich die absoluten Größen aus den Dezibel-Angaben nicht ableiten, d. h. man kann nicht aus ihnen entnehmen, wie groß die Spannungen, Stromstärken oder Leistungen *wirklich* sind!

Die Dezibel-Tabelle auf Seite 11 gibt eine Übersicht. Einige Beispiele dazu: Beträgt die Spannungsverstärkung 20 Dezibel, so ist damit gemeint, daß sich die Eingangsspannung zur Ausgangsspannung verhält wie 1 zu 10, bei 40 db wie 1 zu 100, bei 60 db wie 1 zu 1000, bei 80 db wie 1 zu 10 000.

Das Neper (abgekürzt N) ist wie das Dezibel ein Verhältnismaß für Dämpfung und Verstärkung. Es gibt die Werte ebenfalls logarithmisch an, mit dem Unterschied, daß die Basis in den Potenz-Gleichungen nicht 10 ist, sondern die Zahl $e = 2{,}718282...$ (z. B. $2{,}718282^x = 10$ und $x = 2{,}3026$). (Die Zahl e — das sei hier nur nebenbei erwähnt — ist der nie ganz genau errechenbare Grenzwert der Summe $1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} +$ usw.).

Dezibel-Tafel

Dezibel	Wertverhältnis der Spannungen bzw. Ströme	Wertverhältnis der Leistungen
0	1,00	1,00
1	1,12	1,26
2	1,26	1,59
3	1,41	1,99
4	1,59	2,53
5	1,78	3,16
6	2,00	4,00
7	2.24	5,01
8	2,51	6,30
9	2,82	7,95
10	3,16	10,00
12	3,98	15,80
14	5,01	25,20
16	6,31	39,90
18	7,94	63,00
20	10	100
30	31,62	1 000
40	100	10 000
50	316	100 000
60	1 000	10^6
70	3 162	10^7
80	10 000	10^8
90	31 620	10^9
100	100 000	10^{10}

Zwischen Dezibel und Neper gelten die Beziehungen:

$$1 \text{ N} = 8{,}686 \text{ db} = 0{,}8686 \text{ Bel}$$
$$1 \text{ db} = 0{,}1 \text{ Bel} = 0{,}1151 \text{ N}$$

Das Neper wird in Deutschland in der Fernsprechtechnik allgemein angewendet, während es in der Elektroakustik durch das Dezibel verdrängt wurde.

Der voraufgegangenen Dezibel-Tafel entspricht die umstehend angegebene Neper-Tafel.

Neper	Wertverhältnis der Spannungen bzw. Ströme ca.	der Leistungen ca.
0,00	1,000	1,00
1,00	2,72	7,39
2,00	7.40	54,4
3,00	20,1	405
4,00	54,5	2 970
5,00	148	21 900
6.00	403	163 000
7,00	1 090	1 190 000
8,00	2 960	8 760 000
9,00	8 050	$64{,}9 \cdot 10^6$
10,00	21 800	$4{,}75 \cdot 10^8$
12,0	161 000	$2{,}59 \cdot 10^{10}$
14,0	1 180 000	$1{,}39 \cdot 10^{12}$
16,0	8 800 000	$77 \cdot 10^{12}$
18,0	$67 \cdot 10^6$	$44 \cdot 10^{14}$
20,0	$490 \cdot 10^6$	$24 \cdot 10^{16}$

In den folgenden Formeln bedeuten:

U_e = Eingangsspannung
I_e = Eingangsstrom
N_e = Eingangsleistung
U_a = Ausgangsspannung
I_a = Ausgangsstrom
N_a = Ausgangsleistung

Spannungsverstärkung

$$v = \ln \frac{U_a}{U_e} \text{ (N)} = 2{,}303 \log \frac{U_a}{U_e} \text{ (N)} = 20 \log \frac{U_a}{U_e} \text{ (db)}$$

Stromverstärkung

$$v = \ln \frac{I_a}{I_e} \text{ (N)} = 2{,}303 \log \frac{I_a}{I_e} \text{ (N)} = 20 \log \frac{I_a}{I_e} \text{ (db)}$$

Leistungsverstärkung

$$v = \frac{1}{2} \ln \frac{N_a}{N_e} \text{ (N)} = 1{,}152 \log \frac{N_a}{N_e} \text{ (N)} = 10 \log \frac{N_a}{N_e} \text{ (db)}$$

Spannungsdämpfung

$$d = \ln \frac{U_e}{U_a} \text{ (N)} = 2{,}303 \log \frac{U_e}{U_a} \text{ (N)} = 20 \log \frac{U_e}{U_a} \text{ (db)}$$

Stromdämpfung

$$d = \ln \frac{I_e}{I_a} \text{ (N)} = 2{,}303 \log \frac{I_e}{I_a} \text{ (N)} = 20 \log \frac{I_e}{I_a} \text{ (db)}$$

Leistungsdämpfung

$$d = \frac{1}{2} \ln \frac{N_e}{N_a} \text{ (N)} = 1{,}152 \log \frac{N_e}{N_a} \text{ (N)} = 10 \log \frac{N_e}{N_a} \text{ (db)}$$

Dopplersches Prinzip. Verkleinert sich die Entfernung zwischen einer Schallquelle und dem Ohr, so findet eine Tonerhöhung statt, bei Vergrößerung der Entfernung eine Tonerniedrigung. Das Phänomen läßt sich z. B. beim Vorbeifahren einer pfeifenden Lokomotive beobachten. Die Erklärung beruht darauf, daß bei näherkommender Schallquelle mehr Schwingungen in der Zeiteinheit das Ohr erreichen (Tonfrequenzerhöhung), als bei ruhenden Verhältnissen, umgekehrt bei der Entfernung der Schallquelle.

Drosselkette siehe Pässe.

Drosselspulen. Spulen mit und ohne Eisenkern zum Abdrosseln von nieder- oder hochfrequenten Strömen.

Dyn. Einheit der Kraft (aus dem Griechischen: dynamis = Kraft).

10^6 Dyn = 1 Megadyn.

10^8 Dyn = 1 Vis (v) (lateinisch „vis“ = Kraft).

Dynamik. Wechseln der Lautstärken bei akustischem Geschehen: Musik, Gesang, Sprache. In technischem Sinne wird das Verhältnis von größter zu kleinster Lautstärke eines akustischen Vorgangs als Dynamik bezeichnet. Sowohl beim Rundfunkempfang als auch bei anderen stimmlichen oder musikalischen Schalläußerungen wird der Größenwert der Dynamik nach unten hin durch die Höhe der Amplitude des Störgeräusches (Grundgeräusch) begrenzt, nach oben hin durch eine Maximalamplitude, bei der verzerrungsfreie

Wiedergabe gerade noch möglich ist. Bei Schallplatten-Wachsaufnahmen läßt sich ein Dynamikwert von etwa 50 db, beim Magnetofonverfahren ein solcher bis 65 db, beim Lichttonverfahren von 40 db erreichen.

Die untere Grenze ist also durch das Eingangsgeräusch, die obere durch nichtlineare Verzerrungen (Klirrfaktor) gegeben.

Dynamikregelung und Dynamikentzerrung. Das menschliche Ohr vermag akustische Eindrücke aufzunehmen und zu verarbeiten, deren Schallenergien sich zwischen 10^{-9} und 10^{2} Watt bewegen, entsprechend dem eben noch vernehmbaren Säuseln des Windes in den Blättern und dem Dröhnen schwerer Explosionsmotoren in unmittelbarer Nähe. Die Bewältigung eines solchen Dynamikumfanges stellt — vom technischen Standpunkt aus — eine außerordentlich große Leistung dar, zu der das menschliche Ohr dank des Umstandes fähig ist, daß der Stärkeunterschied von zwei Empfindungen nur logarithmisch vom Verhältnis der Reizstärken abhängt. Während das menschliche Ohr also einen sehr ausgedehnten Dynamikumfang verarbeiten kann, ist die Leistungsfähigkeit elektro-akustischer Geräte wesentlich beschränkter.

Alle Einrichtungen zur elektrischen Aufnahme, Verstärkung, Aufzeichnung und Wiedergabe von akustischen Darbietungen im weitesten Sinne können nur eine begrenzte Dynamik einwandfrei verarbeiten. Überschreitet die Lautstärke eine gewisse obere Grenze, so treten in den beteiligten Apparaturen Verzerrungen auf, die zunächst die Naturtreue der Wiedergabe oder Aufzeichnung beeinträchtigen und schließlich zu Unverständlichkeit bis Unerträglichkeit des Hörbildes führen. Sinkt die Lautstärke der Originaldarbietung hingegen unter eine gewisse untere Grenze, so geht die Wiedergabe in den unvermeidbaren Störungen, wie Netzbrumm-, Film- und Nadelgeräusch u. a. m. unter. Die Breite der Dynamik, die verarbeitet werden kann, ist bei verschiedenen Apparaturen unterschiedlich (siehe auch unter „Dynamik").

Es gibt Musikdarbietungen, bei denen das Verhältnis zwischen den Piano- und den Fortestellen 1 : 1000 beträgt.

Derartige Unterschiede lassen sich senderseitig im Rundfunk nicht meistern. Die Pianostellen würden im Störspiegel untergehen, die Fortissimostellen würden zu einer Übersteuerung der Verstärker am Sender führen. Deshalb drückt man den Wert der Dynamik schon bei der Aufnahme auf 1 zu 30 bis 1 zu 50 zusammen. Diese „Dynamikkompression" verflacht den musikalischen Gehalt einer Darbietung. Man ist deshalb bestrebt, das ursprüngliche Klangbild wiederherzustellen: Dynamikentzerrung (auch Dynamikexpansion). — Es gibt eine Reihe geeigneter Schaltungen: Steilheitssteuerung von Regelröhren durch vom Niederfrequenzverstärker entnommene Spannungen.

Einfachere Regelanordnungen lassen sich mit Heißleitern aufbauen, bei denen z. B. eine Metallfadenglühlampe parallel zur Schwingspule des Lautsprechers geschaltet wird. Mit wachsender Spannung am Lautsprecher wird der Fadenwiderstand wegen seines positiven Temperaturkoeffizienten größer, der Strom, der durch den Nebenkanal fließt, mithin kleiner; Ergebnis: Lautstärkenzunahme. Allerdings ist diese Art der Dynamiksteigerung mit erheblichen Verlusten verbunden, denn die kleine Glühlampe (man verwendet praktisch 2- bis 4-Volt-Lämpchen von 0,1 bis 0,5 A Stromverbrauch) nimmt im kalten Zustand etwa 63%, im warmen 33% Ausgangsleistung auf, so daß die Schalleistung sinkt.

Dynamischer Lautsprecher siehe Lautsprecher.

Dynamisches Mikrofon siehe Mikrofon.

Dynamischer Tonabnehmer siehe unter Schallplatte.

E

Elektrische Musik. Wie es die Bezeichnung sagt, werden die Töne bei den elektrischen Musikinstrumenten auf elektrischem Wege erzeugt (elektroakustisch). Es gibt eine Reihe grundsätzlich verschiedener Verfahren. Die wichtigsten sind hier gestreift. Verstärker und Lautsprecher sind stets letzte Glieder.

Bode-Melochord (Harald Bode). Die tonfrequenten Schwingungen werden in entsprechenden Schwingkreisen erzeugt (Rückkopplungsprinzip). Grundschaltung siehe **Bild 4.**

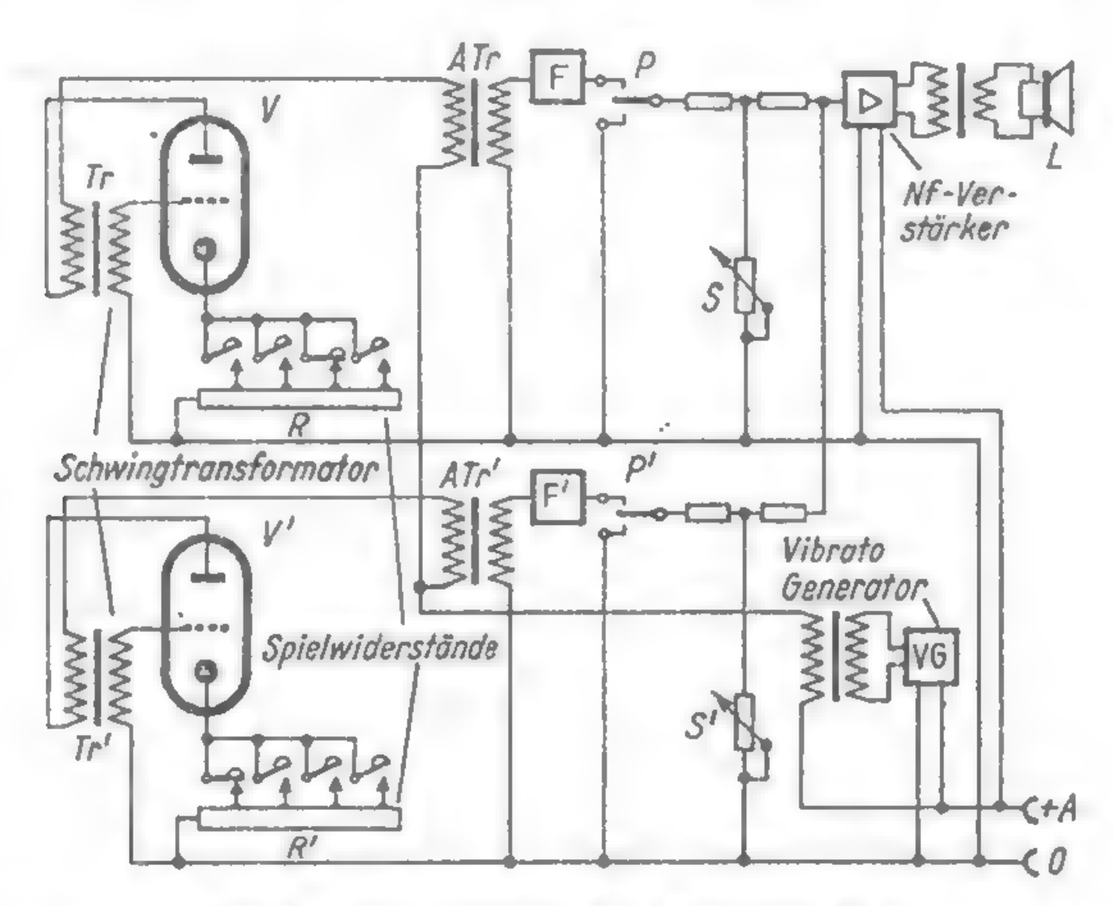


Bild 4. Prinzipschaltung des Melochord (Bode)

Elachord. Tonerzeugung ebenfalls durch Röhren in Schwingkreisschaltungen.

Hammond-Orgel. Schwingungserzeugung elektromagnetisch: gezahnte Stahlscheiben rotieren vor Induktionsspulen, wobei Wechselströme in den Spulen entstehen, die verstärkt einem Lautsprecher zugeführt werden. Manuale wie bei Orgeln.

Heliophon (Hellberger), neüere Weiterentwicklung des Hellertions (2 Manuale).

Hellertion (Hellberger und Lertes). Vorläufer des Melochords. Ein niederfrequent rückgekoppelter Röhrensummer erzeugt in Abhängigkeit von der angelegten Gittervorspannung tonfrequente Schwingungen mit starkem Oberwellengehalt. Tonhöhenänderung durch Permeabilitätsänderungen des Rückkopplungstransformators.

Martenot-Gerät. Prinzip des Schwebungssummers. Eigenartig gezogene Klänge.

Solovox-Gerät. Zusatz zum normalen Klavier. Das Gerät enthält einen Oszillator, der mit den Tönen der höchsten Oktave schwingt, je nachdem, welche der Tasten angeschlagen wird. (Einstimmig).

Trautonium (Dr. F. Trautwein). Mit Hilfe einer Glimmlampe oder einer Thyratron-Röhre werden Kippschwingungen erzeugt, die als Stoßfrequenz auf elektrische Klangfarbenschaltungen einwirken.

Theremin-Ätherwellenklavier. Prinzip des Schwebungssummers, Tonhöhenänderung durch Nähern und Entfernen der Hand an einen Metallstab (Handkapazität).

Eine andere Art „elektrischer Musik" wird durch die elektromagnetische Abtastung der Saiten von Musikinstrumenten erzeugt. Klangfarbenschaltungen gestatten es, den durch einen Lautsprecher wiedergegebenen Schall in beliebiger Weise zu variieren. Hierhin gehört der *Neobechstein*-Flügel (Nobelpreisträger W. Nernst), wie das *Elektrochord* von O .Vierling. Der Resonanzboden fehlt in diesen Instrumenten völlig, so daß den Saiten nicht unnötig Schwingungsenergie entzogen wird; dadurch lange Abklingzeiten. Schließlich ist die *Elektrogitarre* zu erwähnen; eine Art von Tonabnehmer wird der Gitarre aufgesetzt, welche die mechanischen Schwingungen in elektrische umsetzt.

Elektrodynamischer Lautsprecher siehe Lautsprecher.

Elektromagnetischer Lautsprecher siehe Lautsprecher.

Elektrostatischer Lautsprecher siehe Lautsprecher.

Empfindlichkeitskurve des Ohres siehe Physiologische Akustik.

Entzerrer siehe unter Pässe.

Exponentialtrichter siehe Lautsprecher.

F

Faltlautsprecher siehe Lautsprecher.

Filterkreise siehe Pässe.

Formante siehe Musik.

Fotozelle siehe Lichtton.

Freischwinger siehe Lautsprecher.

Frequenz. Schwingungszahl in der Sekunde gemessen in Hertz (Hz); 1000 Hertz = 1 Kilohertz (kHz); 1000 Kilohertz = 1 Million Hertz = 1 Megahertz (MHz).

Frequenz(bereich) der Töne. Tonfrequenz, siehe diese.

Frequenzbereich der Musikinstrumente siehe Musikinstrumente.

Frequenzmessung (Niederfrequenz). Im Bereich von 10 bis 200 Hertz mit Zungenfrequenzmesser. Bei entsprechender Eigenschwingungszahl werden Zungen durch einen Elektromagneten in Schwingungen versetzt, deren verbreitertes Schwingende durch sein Pendeln die Anzeige übernimmt. Erforderliche Meßleistung etwa 1 Watt. — Für kleinere Leistungen und höhere Frequenzen (etwa 20 bis 20 000 Hz) bedarf es röhrengesteuerter Meßgeräte. Die in ihnen benutzten direkt anzeigenden (frequenzgeeichten) Instrumente enthalten zwei im rechten Winkel zueinander angeordnete Spulen, die von dem zu messenden Wechselstrom durchflossen werden. In der neutralen Zone der Felder beider Spulen ist das Anzeigesystem angeordnet. Die von der Frequenz abhängige Phasendifferenz der Ströme in den Spulen bedingen die auftretenden Ablenkkräfte.

Praktisch leistungslos arbeitet das Gerät nach Schaltschema **Bild 5.** Die Ladezeit eines wahlweise einschaltbaren Kondensators ist Grundlage für die Frequenzmessung.

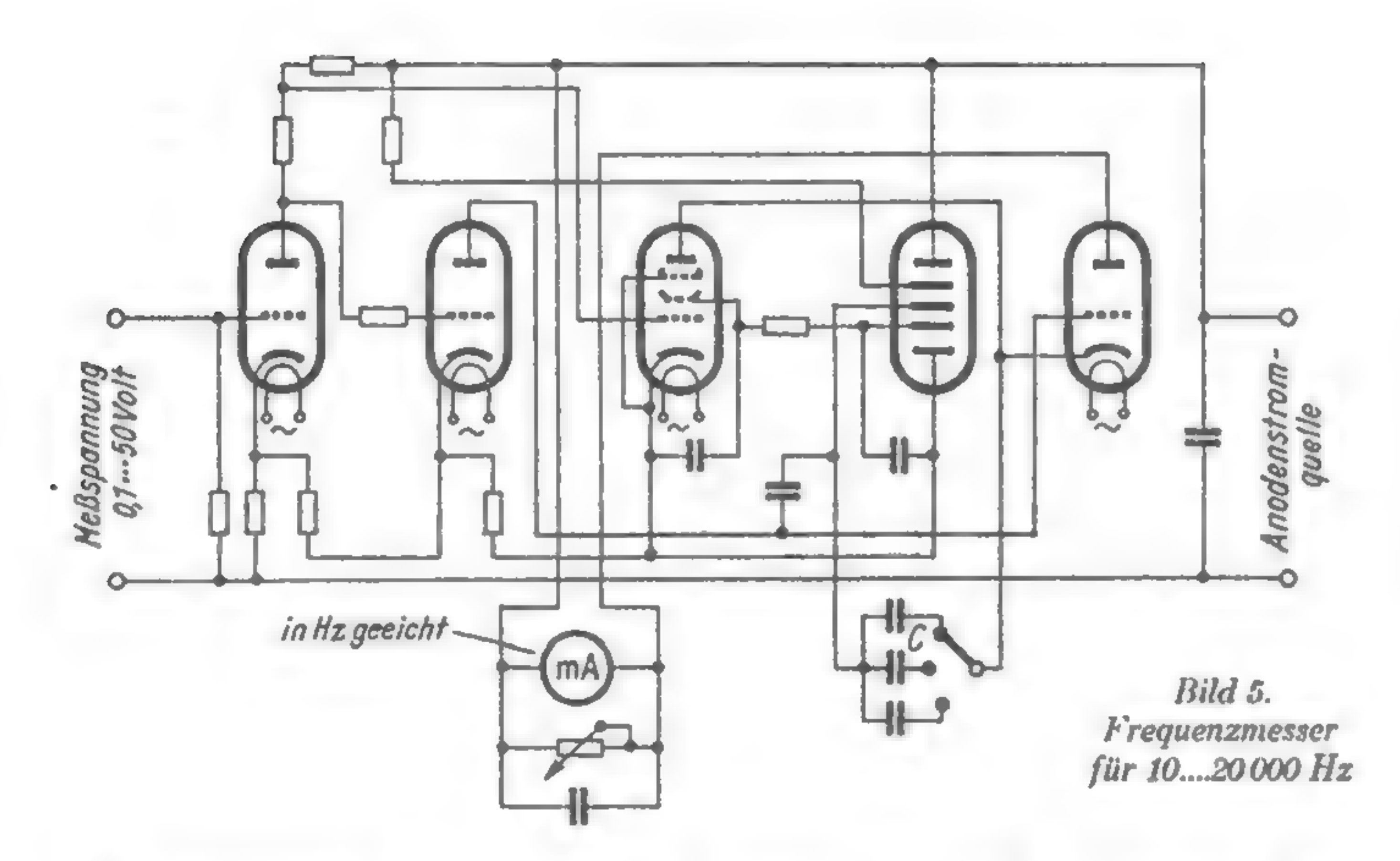


Bild 5. Frequenzmesser für 10....20 000 Hz

Frequenzmodulation unter Amplituden-Modulation behandelt.

G

Gedämpfte Schwingungen (unstationäre Schwingungen). Schwingungen, deren Amplituden ab- oder zunehmen.

Gegenkopplung siehe unter Verstärker.

Gegentaktschaltung siehe unter Verstärker.

Gehörempfindung (Gehörempfindlichkeit) siehe unter Physiologische Akustik.

Geräusch. Zusammenwirken sehr vieler unharmonischer Einzeltöne.

Geschwindigkeit des Schalls siehe Schallgeschwindigkeit.

Grundton. Tiefster Ton, den ein schwingender Körper abgeben kann (Höhere gleichzeitig abgegebene Töne heißen Obertöne; siehe diese).

H

Hammond-Orgel siehe unter Elektrische Musik.

Harmonische Obertöne siehe Obertöne.

Harmonische Schwingungen verlaufen sinusförmig (**Bild 6**).

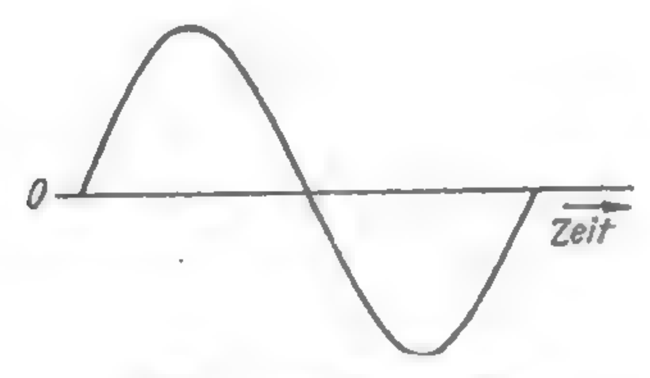


Bild 6. Sinusförmige Kurve

Heliophon siehe unter Elektrische Musik.

Hellertion siehe unter Elektrische Musik.

Hertz. Maßeinheit für die Frequenz, siehe diese.

Hochpaß siehe unter Pässe.

Hochton-Lautsprecher siehe unter Lautsprecher.

Hörbereich siehe unter Physiologische Akustik.

Hörkurven siehe unter Physiologische Akustik.

Hörvorgang siehe unter Physiologische Akustik.

I

Infraschall. Unhörbare Schallschwingungen unter 16 Hertz. Sie können von Großkraftmaschinen hervorgerufen werden und selbst auf größere Entfernungen schwere Zerstörun-

gen hervorrufen. Ihre Frequenz liegt bei etwa 1 Hz. Wind und Brandung an den Meeresküsten verursachen Infraschallschwingungen in der Größenordnung von $^{1}/_{50}$ Hz. Es gibt noch längere Wellen dieser Art mit Schwingungszahlen herab bis zu $^{1}/_{2000}$ Hz, z. B. Erdbebenwellen, die zur Vollendung eines Wellenzuges rund 3 Minuten brauchen.

Interferenz. Zusammenwirken zweier oder mehrerer aufeinandertreffender Wellen. Haben die interferierenden Wellen gleiche Wellenlänge und gleiche Phase **(Bild 7)**, d. h.

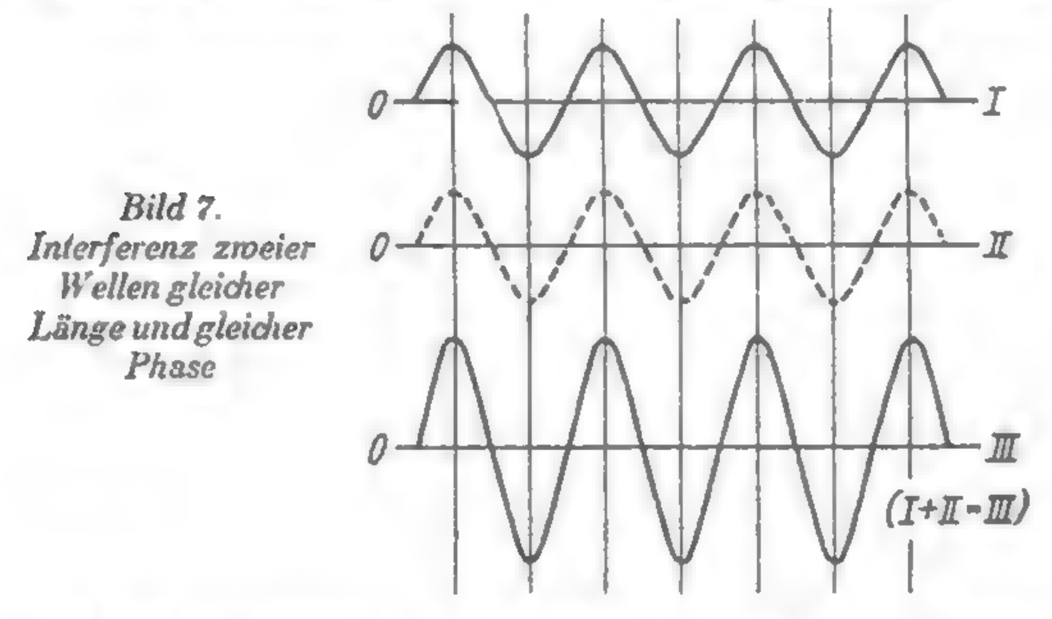


Bild 7. Interferenz zweier Wellen gleicher Länge und gleicher Phase

treffen Berg und Tal der einen Welle (I) mit Berg und Tal der anderen (II) in einem Raum genau zusammen, so ergibt sich eine Welle mit einer Amplitude gleich der Summe der Einzelamplituden (Verstärkung): III. Zwei Wellen gleicher Länge können sich bei gleichen Amplituden auslöschen, wenn sie in der Phase um 180° gegeneinander verschoben sind, **(Bild 8).** Bei größerer oder kleinerer Phasenverschiebung gegen-

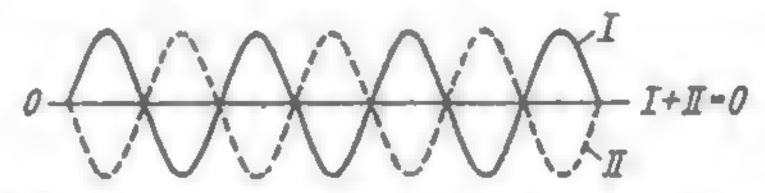


Bild 8. Interferenz zweier um 180° gegeneinander verschobener gleichlanger Wellen gleicher Amplituden. Ergebnis = Null

einander ergibt sich eine den jeweiligen Zeitwerten entsprechende neue Welle **(Bild 9).** Bei verschiedener Schwingungszahl nennt man den Vorgang: Überlagerung.

Internationale Stimmung. Musikalische Stimmung von Musikinstrumenten auf der Basis des Kammertones „a" mit

440 Hertz. Früher lag die Frequenz eine Idee niedriger, nämlich bei 435 Hertz. Viele Zusammenstellungen basieren noch

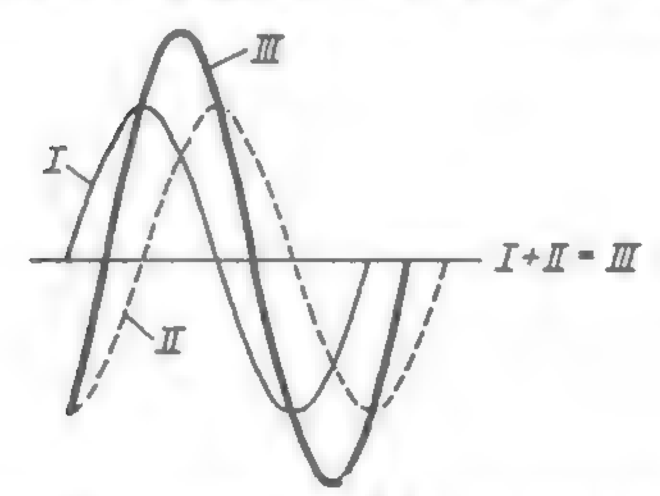


Bild 9.
Interferenz zweier um 90° gegeneinander phasenverschobener Wellen gleicher Länge und gleicher Amplitude

auf der alten Schwingungszahl des Kammertones. Die folgende Tabelle gibt die heute gültigen Schwingungszahlen der Töne zwischen 16 und 16 000 Hertz und ihre Wellenlänge an.

Musikal. Bezchg.	Frequenz Hz	Wellenlänge m	Musikal. Bezchg.	Frequenz Hz	Wellenlänge m	Musikal. Bezchg.	Frequenz Hz	Wellenlänge m
C 2	16,35	20,82	f	174,61	1,949	a 3	1 760,00	0,1935
D 2	18,35	18,54	g	196,00	1,736	h 3	1 975,54	0,1722
E 2	20,60	16,51	a	220,00	1,548	c 4	2 093,02	0,1626
F 2	21,83	15,59	h	246,94	1,378	d 4	2 349,33	0,1448
G 2	24,50	13,89	c 1	261,63	1,301	e 4	2 637,03	0,1290
A 2	27,50	12,39	d 1	293,67	1,159	f 4	2 793,84	0,1219
H 2	30,87	11,02	e 1	329,63	1,032	g 4	3 135,98	0,1085
C 1	32,70	10,41	f 1	349,23	0,975	a 4	3 520,00	0,0968
D 1	36,71	9,27	g 1	392,00	0,868	h 4	3 951,09	0,0861
E 1	41,20	8,26	a 1	440,00	0,774	c 5	4 186,03	0,0813
F 1	43,65	7,80	h 1	493,89	0,689	d 5	4 698,66	0,0724
G 1	49,00	6,94	c 2	523,25	0,651	e 5	5 274,07	0,0645
A 1	55,00	6,19	d 2	587,33	0,579	f 5	5 587,68	0,0609
H 1	61,74	5,51	e 2	659,26	0,615	g 5	6 271,97	0,0543
C	65,41	5,20	f 2	698,46	0,487	a 5	7 040,00	0,0484
D	73,41	4,63	g 2	783,99	0,434	h 5	7 902,18	0,0431
E	82,41	4,13	a 2	880,00	0,387	c 6	8 372,06	0,0407
F	87,31	3,90	h 2	987,77	0,345	d 6	9 397,32	0,0362
G	98,00	3,47	c 3	1 046,51	0,3253	e 6	10 548,13	0,0323
A	110,00	3,10	d 3	1 174,67	0,2897	f 6	11 175,36	0,0305
H	123,47	2,76	e 3	1 318,52	0,2580	g 6	12 543,93	0,0271
c	130,81	2,602	f 3	1 396,92	0,2437	a 6	14 080,00	0,0242
d	146,83	2,317	g 3	1 567,99	0,2170	h 6	15 804,36	0,0215
e	164,81	2,064						

Intervalle siehe unter Musik.

K

Kammerton. Musikalischer Ton a1 mit der international festgelegten Schwingungszahl 440 Hz, nach dem sich die ganze Stimmung richtet.

Kerrzelle. Ein Lichtsteuerungsorgan, das beim Tonfilm Anwendung findet. Die vom Mikrofon über einen Verstärker erhaltenen Stromschwankungen können mit Hilfe einer Kerrzelle in entsprechende Lichtschwankungen umgesetzt werden (siehe auch Lichtton).

Kettenleiter bestehen aus Kettengliedern, die in Übertragungsleitungen eingeschaltet werden, um bestimmte verlangte Dämpfungen zu erhalten. Je nach der Anordnung der Schaltelemente (Widerstände) unterscheidet man die Glieder laut **Bild 10.**

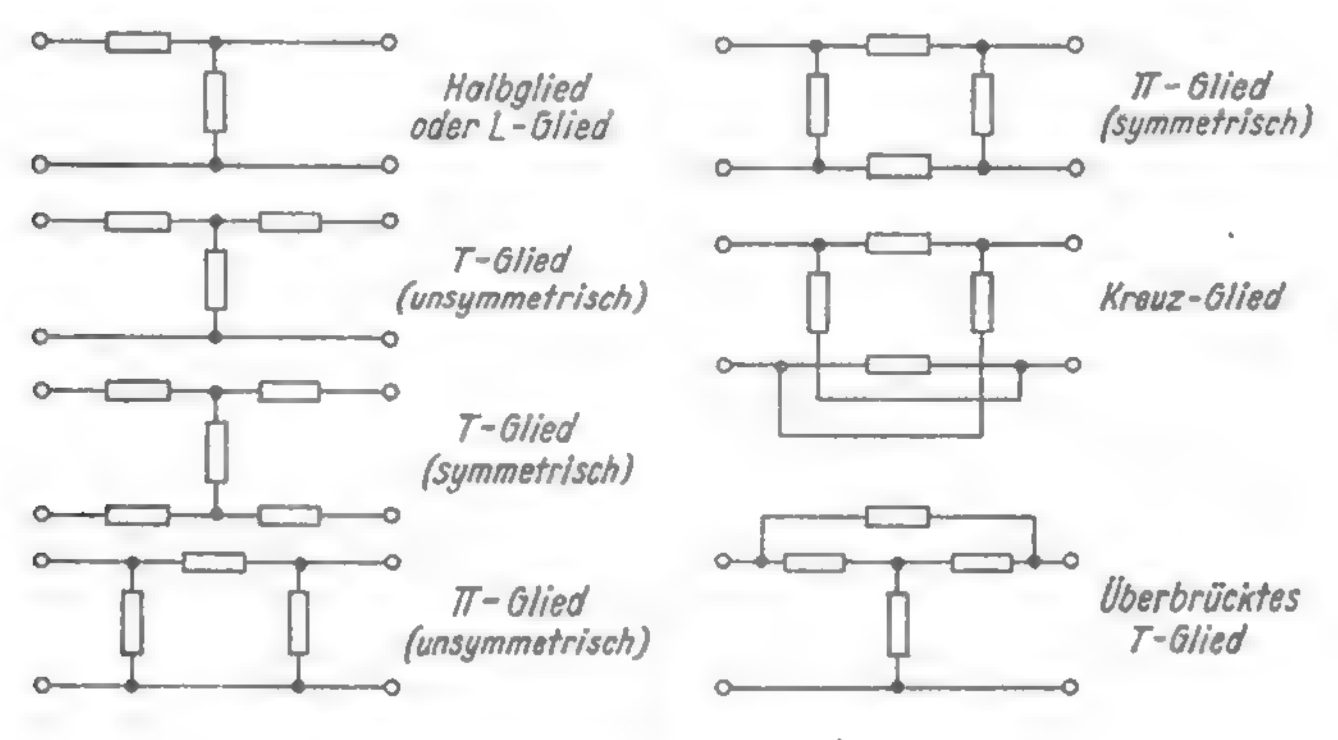


Bild 10. Verschiedene Kettenglieder (Vierpole)

Klang. Schallschwingungsgemisch, bestehend aus einem tiefsten Ton (Grundton) und Teiltönen (Obertönen). Letztere schwingen um ganze Vielfache schneller als der Grundton (siehe auch **Bild 11**).

Klangblende siehe Klangregler.

Klangfarbe. Die Klangfarbe charakterisiert die von verschiedenen Musikinstrumenten abgegebenen Schalläußerungen. Das a, auf der Saite einer Violine gespielt, klingt anders

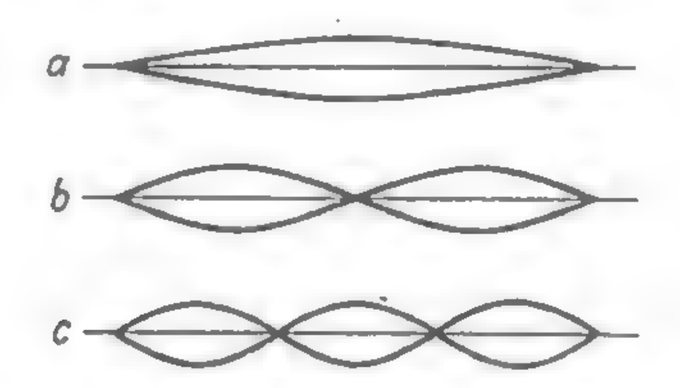


Bild 11. Zusammensetzung mehrerer sinusförmiger Tonschwingungen zum Klang. a) Grundton, b) und c) Oberschwingungen = (Vielfache vom Grundton)

als das gleich hohe a auf der Trompete oder dem Klavier. Dem stets gleichen Grundton sind verschiedenartigste Obertöne beigemischt, die je nach ihrer Zahl und Tonhöhe dem Klang die „Farbe" geben.

Klanggemisch ist Schall, bestehend aus Klängen mit verschiedenen Grundtönen.

Klangregler (auch Klangblende, Tonblende, Tonregler, korrekt: Klangfarbenregler) dient insbesondere bei Rundfunkgeräten zur Regelung des Klangcharakters (Bevorzugung oder Unterdrückung der tiefen bzw. hohen Tonfrequenzen). Streng genommen sind die Bezeichnungen „Tonregler" und „Tonblende" falsch, denn stets handelt es sich um die Beeinflussung von Klängen, nicht von Tönen. Der Klangfarbenregler verbessert nicht immer die Wiedergabe, er macht sie im allgemeinen unnatürlicher, indem er z. B. die Tiefen gegenüber der natürlichen Wiedergabe bevorzugen läßt (siehe auch unter Pässe).

Die einfachste Möglichkeit besteht in der Parallelschaltung eines Kondensators bzw. einer Drossel zum Außenwiderstand (Übertrager oder Lautsprecher). Der Kondensator bietet den höheren Tonfrequenzen einen leichteren Weg, so daß diese über ihn abfließen, während die tieferen Frequenzen kaum durchgelassen werden und im Lautsprecher voll

zur Geltung kommen; je größer der Kondensator, um so weniger hohe Töne werden wiedergegeben. Die Drossel in gleicher Schaltanordnung hingegen läßt die tieferen Frequenzen durch, sperrt aber den höheren mehr oder weniger den Weg, so daß diese bevorzugt durch den Lautsprecher abgestrahlt werden.

Man kann den Klangfarbenregler entweder zwischen der Anode der Endröhre und dem Schaltungsnullpunkt (**Bild 12**), oder zwischen ihrem Gitter und Null einbauen (**Bild 13**). Zur bequemen Regelung legt man in Reihe mit dem Schaltelement (Kondensator oder Drossel) einen veränderlichen Widerstand R. Mit dem Verkleinern des Widerstandes wirkt sich der kapazitive (bzw. der induktive) Nebenschluß, den der Klangfarbenregler bildet, mehr und mehr aus.

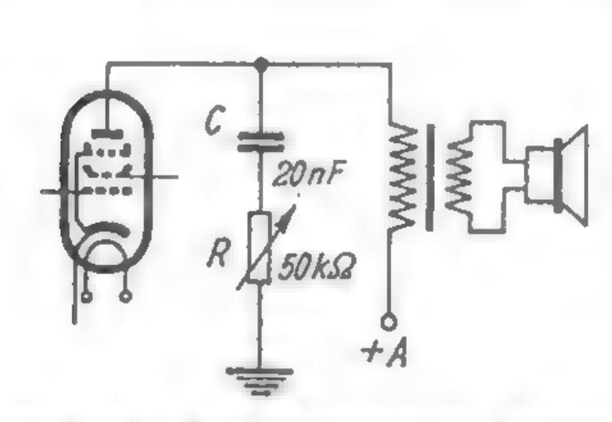


Bild 12. Klangfarbenregler zwischen Anode der Endröhre und Schaltungs nullpunkt

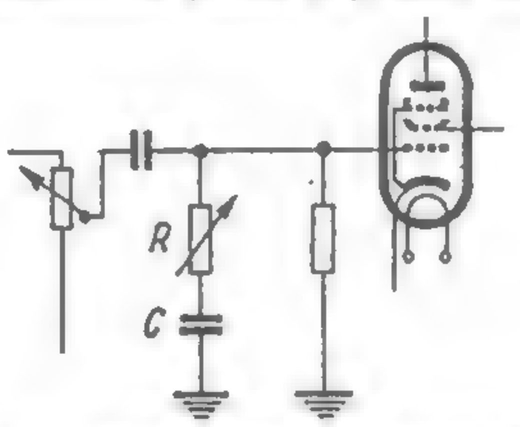


Bild 13. Klangfarbenregler zwischen Gitter der Endröhre und Schaltungsnullpunkt

Ein wahlweise Höhen oder Tiefen beschneidender Klangfarbenregler kann mit Hilfe eines Potentiometers aufgebaut werden (**Bild 14**).

Klirrfaktor. Eine einwandfreie Wiedergabe verlangt sowohl einen großen Tonumfang, als auch Verzerrungsfreiheit. Wenn das Gerät (bzw. der Lautsprecher) Nebentöne abgibt, die nicht im Original vorhanden waren, so spricht man von „nichtlinearen Verzerrungen“ oder von „Klirrverzerrungen“. Sie lassen sich nicht ganz vermeiden, müssen aber in ihrer Gesamtheit unterhalb eines gewissen Prozentsatzes bleiben. Es handelt sich bei den Klirrverzerrungen, die in schweren Fällen ein klirrendes Geräusch verursachen, um unerwünscht stark mitklingende Obertöne. Diese zusätzlich auftretenden Obertöne werden in Prozenten des unverzerrten Tones als

Klirrfaktor (oder Klirrgrad) angegeben. Für sehr gute Wiedergabe wird ein Klirrfaktor verlangt, der nicht über 2% liegt, für gute Wiedergabe 5%, für eben noch ausreichende Wiedergabe 10%. Das Empfinden für den Klirrgrad ist allerdings ein subjektives. — Der Klirrfaktor steigt bei wachsender Leistung schnell an (**Bild 15**).

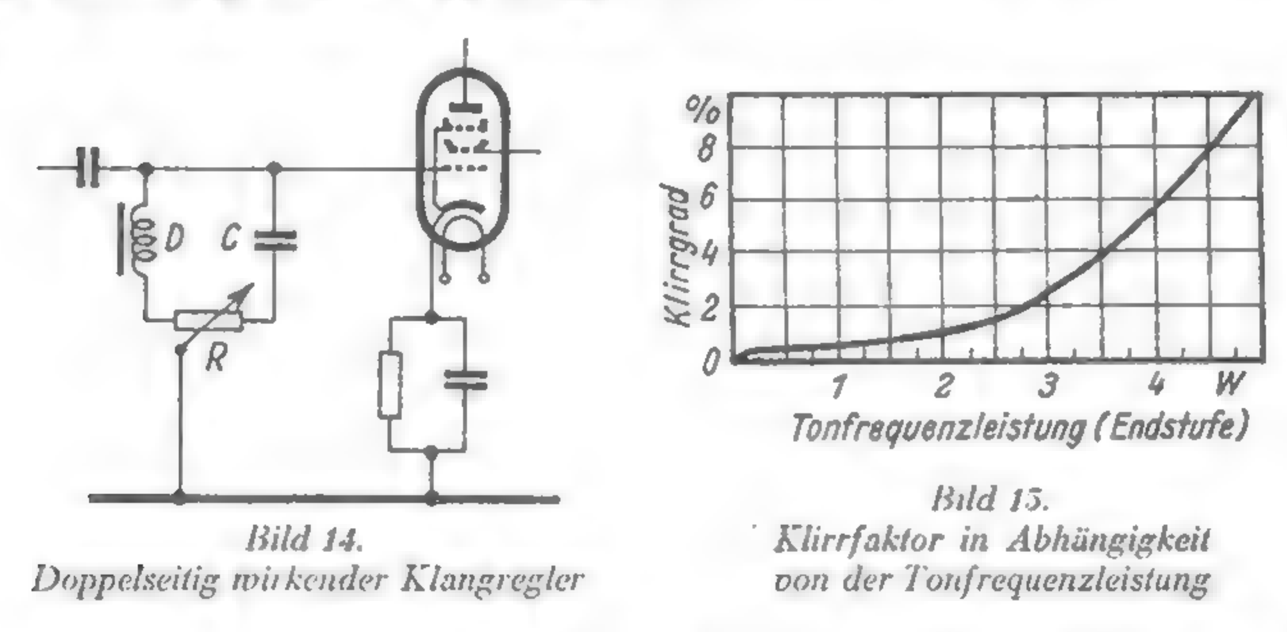


Bild 14.
Doppelseitig wirkender Klangregler

Bild 15.
Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Tonfrequenzleistung

Der Klirrfaktor K wird durch folgende Formel ausgedrückt:

$$K = \frac{\text{Summe der Intensität der Obertöne}}{\text{Intensität des Grundtons}} \cdot 100\ (\%)$$

Knall. Einzelner Schallstoß großer Schallstärke (Schallwelle großer Amplitude).

Kohlemikrofon siehe unter Mikrofon.

Kompensationsmikrofon siehe unter Mikrofon.

Kontaktmikrofon siehe unter Mikrofon.

Kopfhörer haben als Wiedergabeinstrumente für Rundfunkempfang ihre Bedeutung verloren. In der Meßtechnik spielen besonders die alten elektromagnetischen Systeme auf Grund ihrer Empfindlichkeit eine große Rolle, ermöglichen sie doch die Wahrnehmung von Schalleistungen in der Größenordnung von wenigen Mikrowatt. Als „Fernhörer" finden sie in der Fernsprechtechnik weitverbreitete Anwendung.

Neben den elektromagnetischen Typen gibt es elektrostatische und piezoelektrische Kopfhörer; elektrodynamische werden nur selten hergestellt.

Die *elektromagnetischen* Systeme sind im Prinzip nach **Bild 16** aufgebaut: Dauermagnet mit Wicklungen auf seinen Polschuhen; über den Polen die Membran. Frequenzbereich

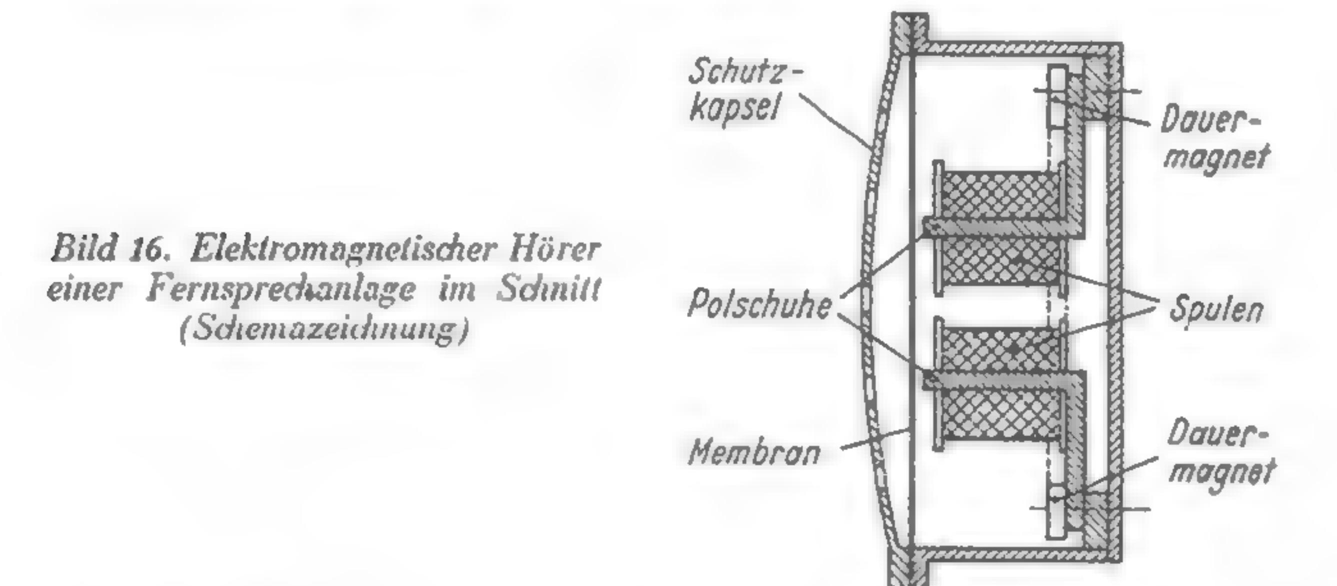


Bild 16. Elektromagnetischer Hörer einer Fernsprechanlage im Schnitt (Schemazeichnung)

300...5000 Hertz. Spulenwiderstand von Rundfunkkopfhörern etwa 2000 Ohm, von Fernsprechtypen 60 bis 200 Ohm (Gleichstromwiderstand).

Im *elektrostatischen* Kopfhörer benutzt man einen unter Gleichspannung stehenden Plattenkondensator; ein Belag ist die Kopfhörermembran. Zuführung der Wechselspannung im allgemeinen über einen Transformator. Gute Wiedergabe. Größere Empfindlichkeit verlangt eine hohe Hilfsgleichspannung und kleinsten Belagabstand.

Im *piezoelektrischen* Kopfhörer werden Kristalle des Seignettesalzes verwendet, und zwar in Form von Doppelelementen, bestehend aus zwei zusammengekitteten Einzelkristallplättchen. Die Tonfrequenz wird den leitenden Belägen auf den einander gegenüberliegenden Seiten des Kristallsystems zugeführt. Unter dem Einfluß eines Wechselfeldes ziehen sie sich zusammen oder dehnen sich aus: sie schwingen im Takt der Tonfrequenz und bewegen so die mit ihnen in Verbindung stehende Membran des Kopfhörers. Eine Gleichspannung ist als Vorspannung erforderlich. Gute Frequenzkurve, kleiner Klirrfaktor.

Körperschall. Schall wird entweder durch die Luft oder durch Körper fortgeleitet. Im letzteren Fall spricht man von Körperschall.

Kristallautsprecher siehe unter Lautsprecher.

Kristallmikrofone siehe unter Mikrofone.

Kristalltonabnehmer siehe unter Tonabnehmer.

Kugelwellen. Der Schall breitet sich von der Schallquelle ausgehend kugelförmig aus. Eine reine Kugelwelle entsteht nur dann, wenn die Abmessungen des Schallstrahlers gegenüber der Wellenlänge des Strahls klein sind (sonst Interferenzen).

L

Langspielplatte siehe unter Schallplatte.

Lärm. Geräuschschwingungen mit großer Amplitude.

Lautheit. Stärke der Schallempfindung. Die wirkliche Lautstärke kann also einen anderen Wert haben, als die vom Ohr empfundene Lautstärke.

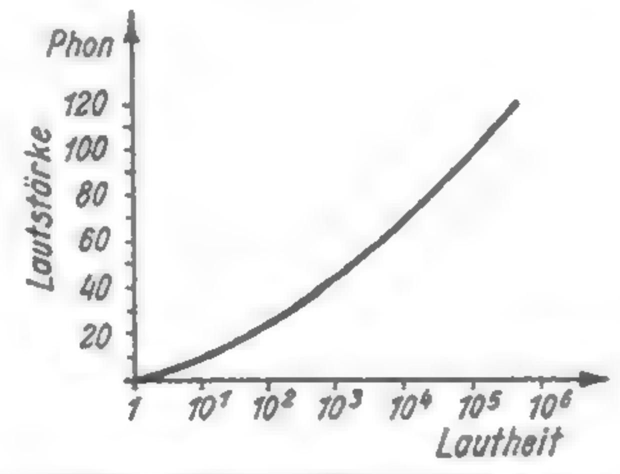


Bild 17. Abhängigkeitsverhältnis Lautheit und Lautstärke

Die Abhängigkeit der Lautheit von der Lautstärke veranschaulicht **Bild 17.**

Lautsprecher haben die Aufgabe, tonfrequente Schwingungen elektrischer Ströme in entsprechende Schallschwingungen umzusetzen. Je mehr sich das Bild der abgestrahlten Schallwelle dem der elektrischen Schwingungen anpaßt, um so besser ist der Lautsprecher. Obwohl man „naturgetreuer" Wiedergabe nahe gekommen ist, wurde sie noch nicht erreicht (siehe weiter unten). — Die einzelnen Arten der Lautsprecher unterscheiden sich durch das jeweilige Antriebssystem.

Elektromagnetische Lautsprecher werden in Rundfunkempfängern kaum mehr verwandt. Prinzip der ersten Modelle: die zugeführten tonfrequenten Spannungen und Ströme werden einer Wicklung auf einem Dauermagneten zugeführt, wodurch magnetische Feldschwankungen hervorgerufen werden. Diese wirken sich auf eine Eisenmembran aus, die dadurch in mechanische Schwingungen gerät und somit Schallwellen erzeugt. Klirrfaktor bei größeren Amplituden sehr groß. Wiedergabegüte gering.

Eine Verbesserung dieses einfachsten Systems bestand in einem Ersatz der Metallmembran durch eine Papier-Konus-Membran, angetrieben durch einen Stift, der wiederum mit einem zwischen den Magnetpolen schwingenden „Anker" verbunden war (Bild 18). Spulenwicklung zwischen den Pol-

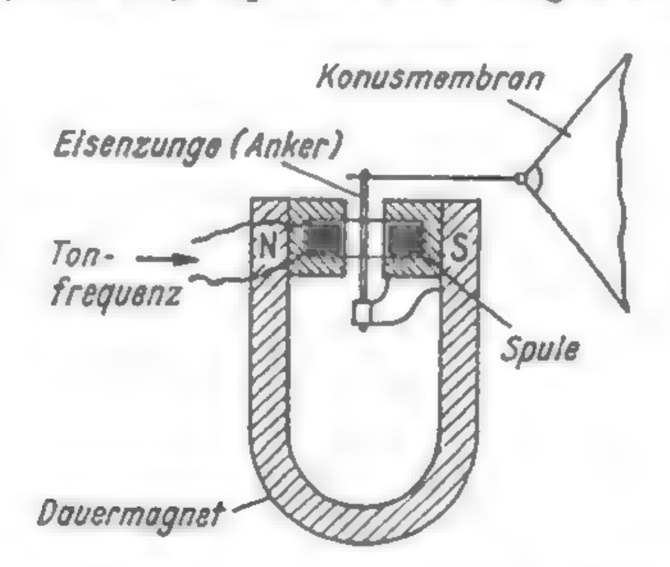


Bild 18. Prinzip des elektromagnetischen Lautsprechers mit Schwinganker und Konusmembran

schuhen. Weitere Verbesserung: Das „Freischwinger"-System (geringere nichtlineare Verzerrungen). Der Anker schwingt „frei", d. h. nicht zwischen den Polen (Bild 19). Weitere Ver-

ringerung der nichtlinearen Verzerrungen, größere Amplituden möglich. Verhältnismäßig große Lautstärken bei

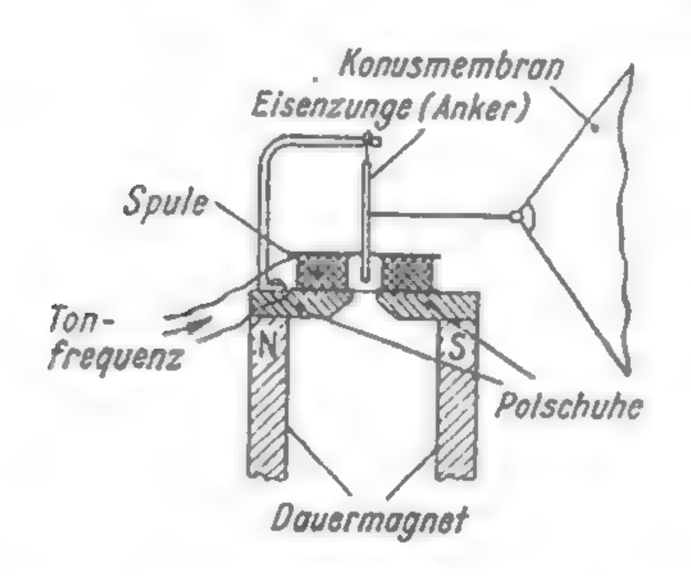


Bild 19. Prinzip eines Freischwingersystems. Meist ist der Freischwinger so gebaut, daß der Drehpunkt des Ankers innerhalb des Magnetbügels liegt

kleinen Eingangsleistungen. Empfindlichkeit geht bei Frequenzen unter 200 Hz stark zurück, Frequenzkurve nicht gut **(Bild 20).**

Der Wechselstromwiderstand der Spulen liegt bei elektromagnetischen Lautsprechern zwischen 2 000 und 20 000 Ohm. Die Sprechleistung ist selten größer als 1,5 Watt.

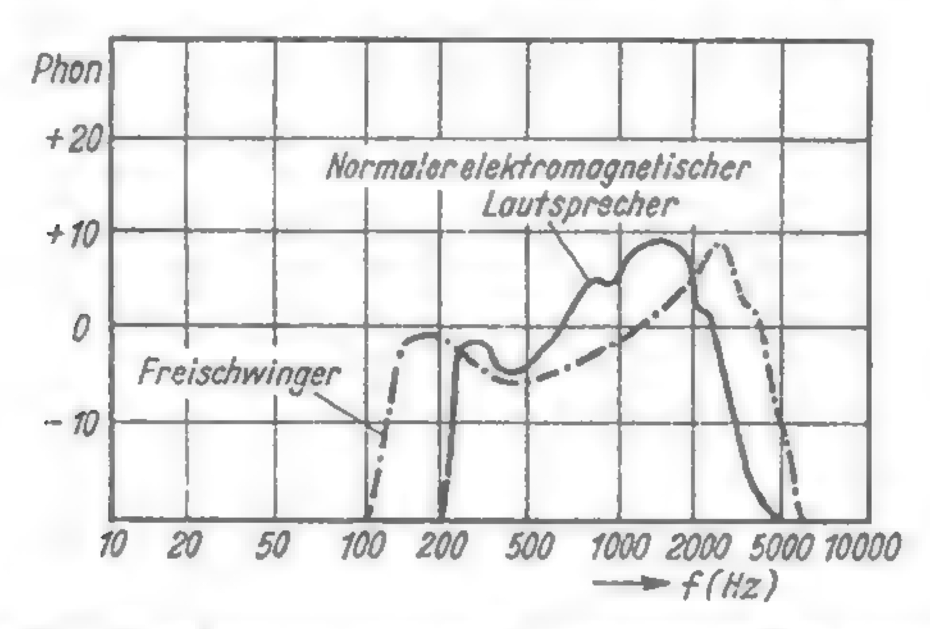


Bild 20. Schalldruckkurve eines einfachen elektromagnetischen Lautsprechers im Vergleich zu der eines Freischwinger-Systems

(Elektro-)Dynamische Lautsprecher. **Bild 21** veranschaulicht das Prinzip. Eine „Schwingspule" taucht in den kreisförmigen Luftspalt eines Topfmagneten. Die der Spule zugeführten tonfrequenten Ströme rufen Feldänderungen hervor, die sich in der Bewegung der Spule äußern. Mit der Spule ist eine konusförmige Membran fest verbunden.

Das magnetische Feld wurde früher, als es noch nicht möglich war, kräftige Dauermagnete herzustellen, durch eine Wicklung auf dem Kern des Topfmagneten erzeugt, die mit Gleichstrom gespeist wurde (zusätzliche Gleichstromleistung 15 bis 20 Watt). Heute verwendet man meist topfförmige Stahlmagnete.

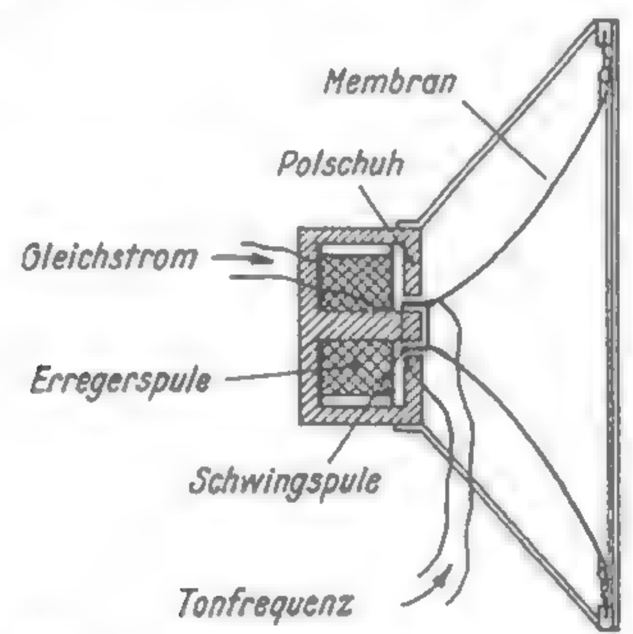


Bild 21. Prinzip des elektrodynamischen Lautsprechers

„Heißgerichteter Magnet" ist ein Fachausdruck für die magnetische Ausrichtung der Moleküle im flüssigen Zustand. Das Magnetmaterial wird während des Erstarrens in ein starkes magnetisches Feld gebracht, wodurch die Molekularmagnete sich von vornherein in die günstigste Lage ordnen (Erhöhung der magnetischen Feldstärke um etwa 30 %).

Die „Schwingspule" oder „Triebspule" muß genau zentriert sein. Man verwendet die Spule haltenden „Spinnen", welche die notwendige Nachgiebigkeit haben. Je nach ihren Anbringungen unterscheidet man Außenspinnen, welche die Schwingspule von außen halten, und Innenspinnen, die im Innern der Spule angebracht sind. Die Schwingspulen werden niederohmig ausgeführt (zwischen 2 und 10 Ohm).

Dynamische Lautsprecher haben einen relativ guten Wirkungsgrad. Sprechleistungen zwischen 1 und 50 Watt. Die Verluste durch den Ausgangsübertrager zwischen Röhre und Lautsprecher betragen etwa 20 bis 25 % der Gesamtleistung.

Das Ersatzschaltbild für einen dynamischen Lautsprecher zeigt Bild 22.

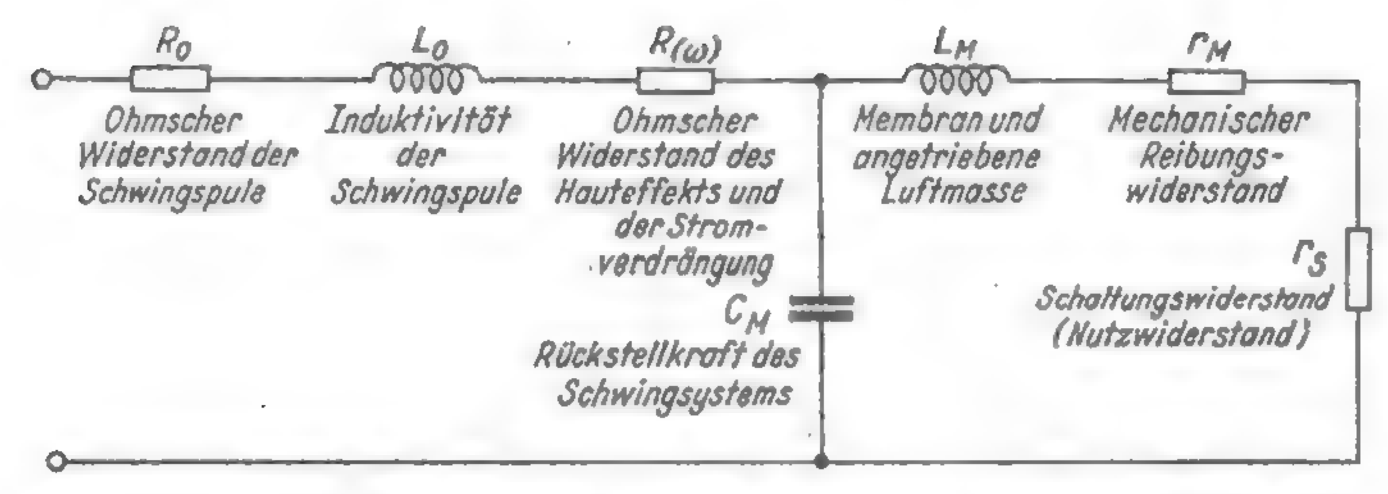


Bild 22. Ersatzschaltbild eines dynamischen Lautsprechers

Elektrostatische Lautsprecher. Zur bevorzugten Abstrahlung hoher Frequenzen verwendet man manchmal elektrostatische Systeme. Sie geben die Tiefen nicht gut wieder. Ihr Wirkungsgrad ist gering. Der elektrostatische Lautsprecher beruht auf dem Kondensatorprinzip. Den schematischen Aufbau veranschaulicht **Bild 23.** In geringem Abstand von

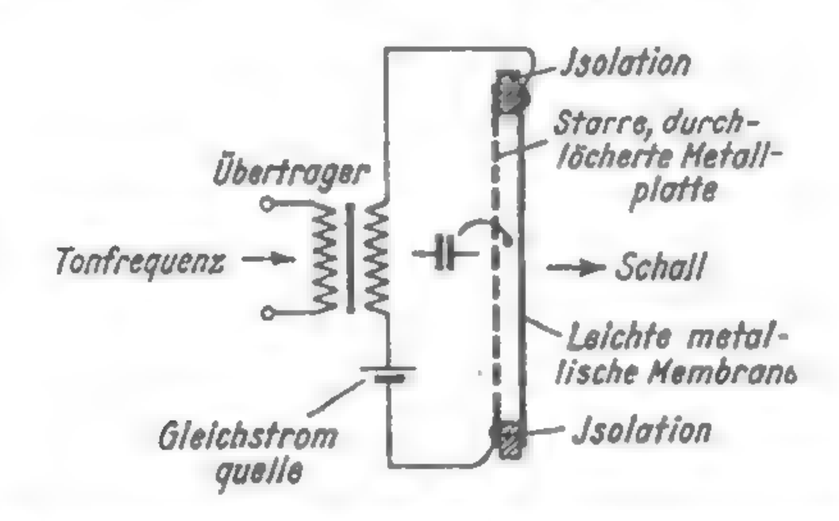


Bild 23. Schema und Anschaltung eines Kondensator-Lautsprechers

einer leichten metallischen Membran ist eine durchlöcherte starre Metallplatte angebracht. Oft befindet sich eine gleich starre Platte auf der anderen Membranseite **(Bild 24).** Unter dem Einfluß der tonfrequenten Wechselspannung, die, wie die Bilder zeigen, angelegt wird, schwingt die Membran. Eine zusätzliche Gleichspannung ist erforderlich.

Kristallautsprecher (Piezoelektrische Lautsprecher). Der piezoelektrische Effekt gewisser Kristalle kann als Antriebssystem für Hochtonlautsprecher verwendet werden. Schallabstrahlung vielfach durch einen kleinen Trichter, es gibt

aber auch andere Ausführungsformen (meist kleiner Ausmaße). Solche Lautsprecher haben kapazitive Widerstände von ca. 25 000 Ohm bei 1 000 Hz; sie entsprechen damit einem Kondensator von etwa 6 500 Picofarad.

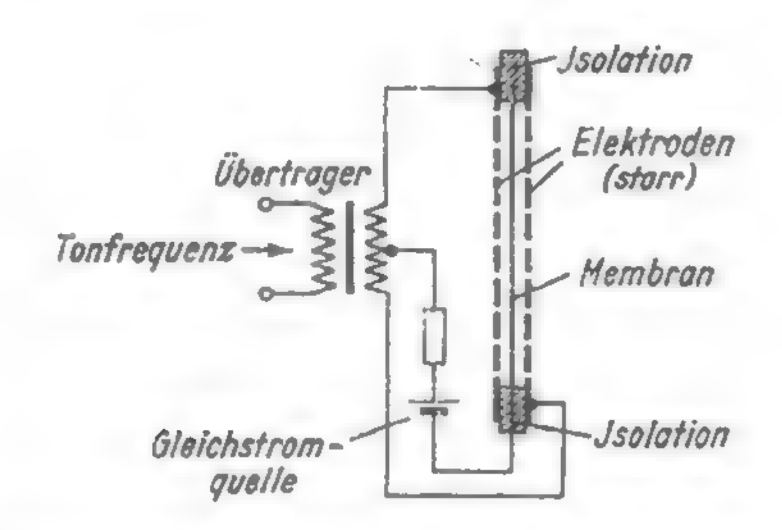


Bild 24. Kondensator-Lautsprecher mit 2 starren Elektroden schematisch

Der *Wirkungsgrad* moderner dynamischer Lautsprecher erreicht 10 % gegen 1 bis 2 % älterer Modelle. Er wächst an mit dem Quadrat der Felddichte im Luftspalt des Magneten und fällt ab mit dem Quadrat der Masse der *Membran* und der Schwingspule. Eine Verkleinerung der Membran würde zu einer Benachteiligung der tiefen Töne führen; daher ist Dünnwandigkeit anzustreben. Die Versuche der Industrie gehen in die Richtung, möglichst leichte Membranen herzustellen. Es gibt z. B. Membranen aus Glasgespinst, deren Gewicht minimal ist und die überdies feuchtigkeitsunempfindlich sind. Neben den verschiedenen Kunststoffabrikaten werden Aluminiumfolien verwendet. Für große Lautsprecher mit breitem Frequenzband benutzt man nach wie vor nur sog. Pappenguß-Membranen. — Die Konusform ist weiterhin vorherrschend, obgleich u. a. Fächermembranen aus Kunststoff vorgeschlagen wurden. Sie haben ein Gewicht in der Größenordnung von 1 Gramm. — Kugelförmige Membranen haben den Vorteil gleichmäßiger Abstrahlung nach allen Seiten. Man kann diese auch durch sehr leichte, auf die Schwingspule aufgesetzte kegelförmige Strahlkörper erzielen.

Der *Frequenzbereich* moderner Lautsprecher geht hinauf bis zu 16 000 Hertz, wenn auch die Frequenzlinie nie ganz

gradlinig ist. Bild 25 zeigt die nahezu gerade Frequenzkurve eines modernen Lautsprechers. Die Kurve läßt die gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen erkennen.

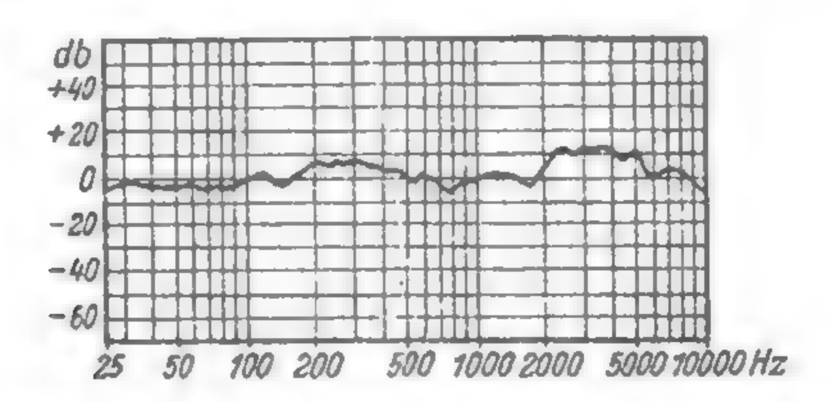


Bild 25. Schalldruckkurve eines guten permanent-dynamischen Lautsprechers

Die *Leistung* von Lautsprechern wird in Watt angegeben. Im allgemeinen richtet man sich bei den Leistungsangaben nach der oberen Grenze: ein 3-Watt-Lautsprecher ist ein solcher, der grade noch 3 Watt Tonfrequenzleistung verträgt. Dabei ist die Wiedergabegüte nicht berücksichtigt; schränkt man die Leistungsangabe durch die Bedingung der Messung bei bester Wiedergabe ein, so sinkt der „vertragene" Leistungswert stark ab. — Lautsprecher mit einer Leistung von 25 Watt sind keine Seltenheit mehr.

Die *Schallabstrahlung* ist mehr oder weniger frequenzabhängig: die hohen Frequenzen werden gebündelter abgestrahlt, als die tiefen (Bild 26). Daher kommt es, daß ein in

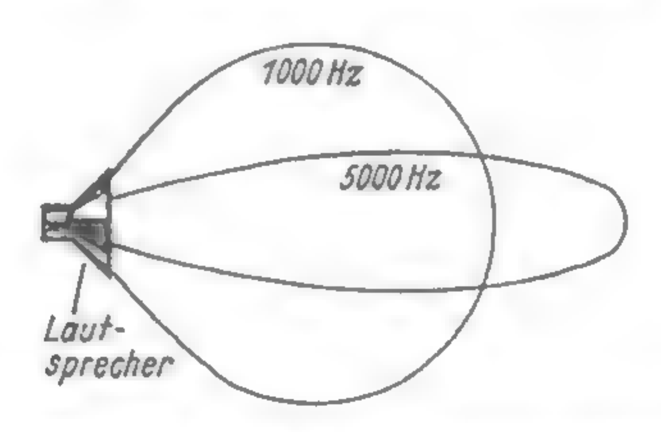


Bild 26. Die Tonfrequenzen werden verschiedenartig gebündelt abgestrahlt

der verlängerten Lautsprecher-Mittelachse befindlicher Hörer die Höhen besser wahrnimmt, als die Tiefen. Um diese Erscheinung einzudämmen, bringt man im Konusinneren, ver-

bunden mit dem Kern des Magnetsystems, einen konisch geformten „Klangzerstreuer“ an **(Bild 27).** Die Abstrahlverhältnisse werden durch diese Maßnahme frequenzunabhängiger.

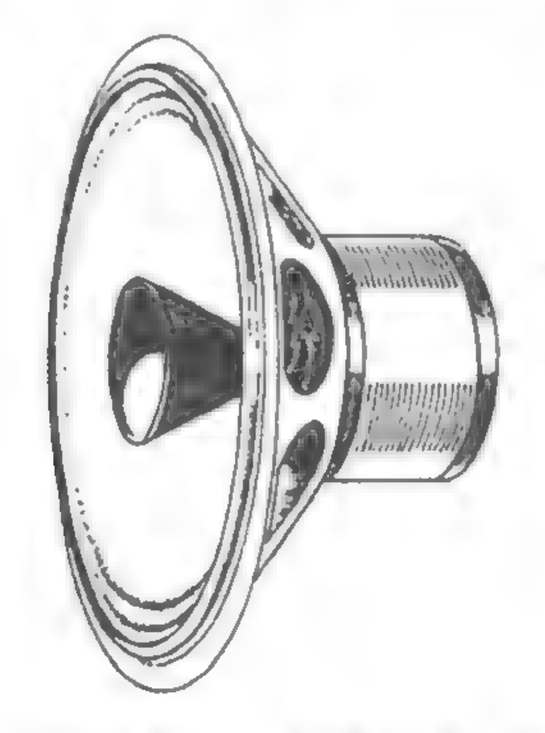


Bild 27. Lautsprecher mit „Klangzerstreuer" (Philips)

Um zu verhindern, daß sich die nach vorn gestrahlten Schallwellen und die von der Rückseite ausgehenden Wellen gegenseitig auslöschen, was bei der Phasenverschiebung um 180° leicht möglich ist (akustischer Kurzschluß), umgibt man das Lautsprechersystem mit einer *Schallwand.* Sollen möglichst gute Verhältnisse erreicht werden, so muß der Durchmesser der Schallwand gleich der halben Wellenlänge sein. Wenn beispielsweise eine Frequenz von 150 Hz noch gut abgestrahlt werden soll, so muß der Schallwanddurchmesser etwa 1 m betragen (bzw. muß die kleinste Entfernung vom Lautsprecher bis zur Kante einer quadratischen oder rechteckigen Schallwand mindestens 50 cm betragen). Der Frequenzgang wird schließlich auch von der Anordnung der Schallöffnung in der Wand beeinflußt (exzentrisch besser als zentrisch). Statt einer Schallwand kann ein Gehäuse den akustischen Kurzschluß verhindern; es ist lediglich darauf zu achten, daß der Schallweg zwischen Vorderseite des Gehäuses und (offener oder durchlöcherter) Rückwand groß genug ist, sonst werden die Tiefen unterdrückt. Das Lautsprechergehäuse (oder die Schallwand) darf nicht mitvibrieren; daher Befestigung mit Zwischenlagen von Filz oder Schwammgummi-Streifen.

Horn- oder *Trichterlautsprecher* verwenden keinen Konus zur Schallabstrahlung, vielmehr eine kleine Membran und eine sogenannte *„Druckkammer"*; das ist ein Hohlraum mit geringer Luftschichtdicke über der Membran. An die Druckkammer schließt sich das Horn an. Um Raum zu sparen, gibt man dem Trichter, bei dem es u. a. auf die „wirksame" Länge des Schallweges ankommt, bestimmte Formen. Ein Beispiel zeigt **Bild 28.** Der Wirkungsgrad des Lautsprechers mit Horn

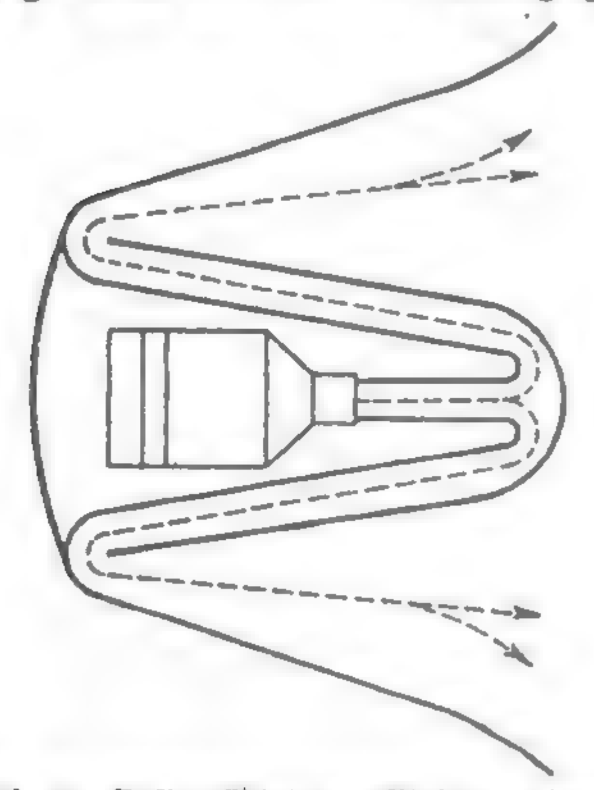


Bild 28. Reflex-Trichter (Philips) schematisch (Antrieb: Druckkammersystem)

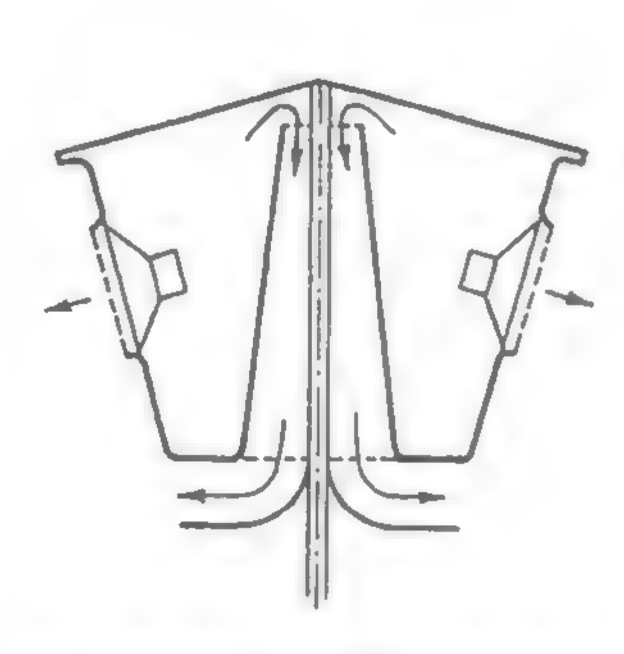


Bild 29. Reflex-Rundstrahler mit Umwegleitung

ist im allgemeinen besser als der des Lautsprechers ohne Horn; das Frequenzband ist etwas schmäler. Vorzugsweise werden Exponentialtrichter verwendet, deren Durchschnitt sich nach einer Exponentialbeziehung schnell vergrößert. Ein derartiges Horn müßte theoretisch im Unendlichen enden. Als Kompromiß läßt man es dort enden, wo sein Durchmesser gleich $^1/_3$ der Wellenlänge der tiefsten zu übertragenden Frequenz ist. Unterhalb dieser Frequenz, der *Grenzfrequenz,* fällt der Strahlungswiderstand sehr rasch vollkommen ab. — Trichterlautsprecher sind natürlich ausgesprochene Richtstrahler. — In gewissem Sinne sind die Reflexrundstrahler Trichterlautsprecher, und zwar insofern, als die rückwärtige Schallabstrahlung durch eine trichterähnliche Anordnung (Umwegleitung) weitergeleitet wird. **Bild 29** zeigt einen Reflexrundstrahler im Schnitt.

Hochton- und *Tieftonlautsprecher.* Die meisten Lautsprecher üblicher Konstruktion geben die hohen und höchsten Tonfrequenzen schlecht oder überhaupt nicht wieder. Daher verbindet man zwei Lautsprechersysteme miteinander, von denen das eine vorzugsweise die Tiefen und die Mittellage wiedergibt und ein zweiter Hochtonlautsprecher (oft Kristallsystem) die Höhen abstrahlt. Die schalttechnische Verbindung der beiden Systeme geschieht in der Weise, wie es **Bild 30** zeigt. Der Kondensator hält dem Hochtonlautsprecher

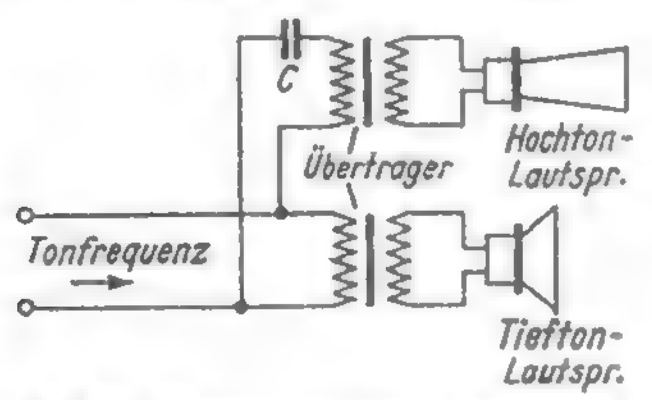


Bild 30. Zusammenschaltung eines Hochton-Lautsprechers mit einem Tiefton-System

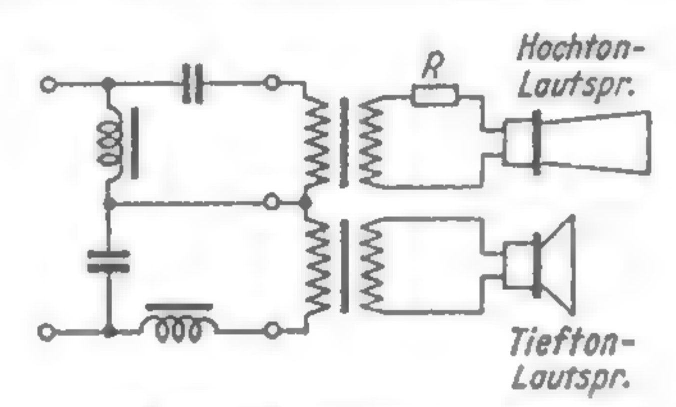


Bild 31. Elektrische Weiche mit Kondensatoren und Drosseln und einem Widerstand R

die tiefen Frequenzen fern und sorgt dafür, daß dem Hauptlautsprecher nicht zuviel Leistung entzogen wird und wirkt zusammen mit dem Hochtonsystem als Impedanzausgleich. Die elektrische Weiche kann auch mit zusätzlichen Drosseln nach **Bild 31** aufgebaut werden.

In welcher Weise sich ein Tiefton- und ein Hochtonlautsprecher ergänzen, zeigen die Frequenzgangkurven von **Bild 32.** Sie entsprechen den beiden in einem Spitzensuper verwendeten Typen.

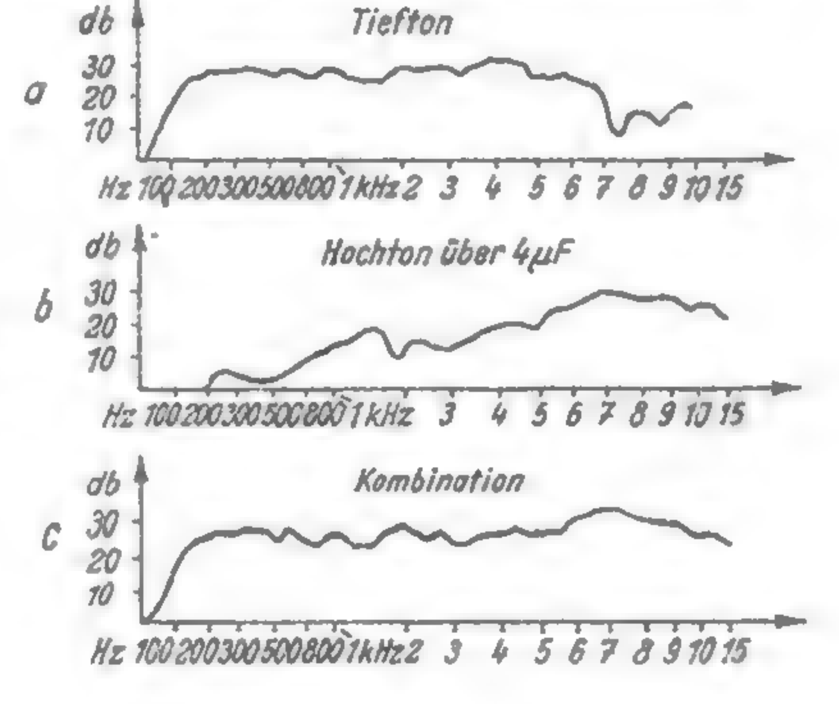


Bild 32. Schalldruckkurven der zwei Lautsprecher im Siemens-Spitzensuper (a und b) und Kombinationskurve (c)

Breitbandlautsprecher sind im allgemeinen Kombinations-Systeme, bei denen ein Hochtonlautsprecher zentrisch im Hauptlautsprecher eingebaut ist. Dadurch wird vermieden, daß die Schallabstrahlung von zwei seitlich gegeneinander verschobenen Schallquellen ausgeht. Den Schnitt durch eine derartige Lautsprecherkombination zeigt **Bild 33.** Frequenzbereich etwa 30...15 000 Hz.

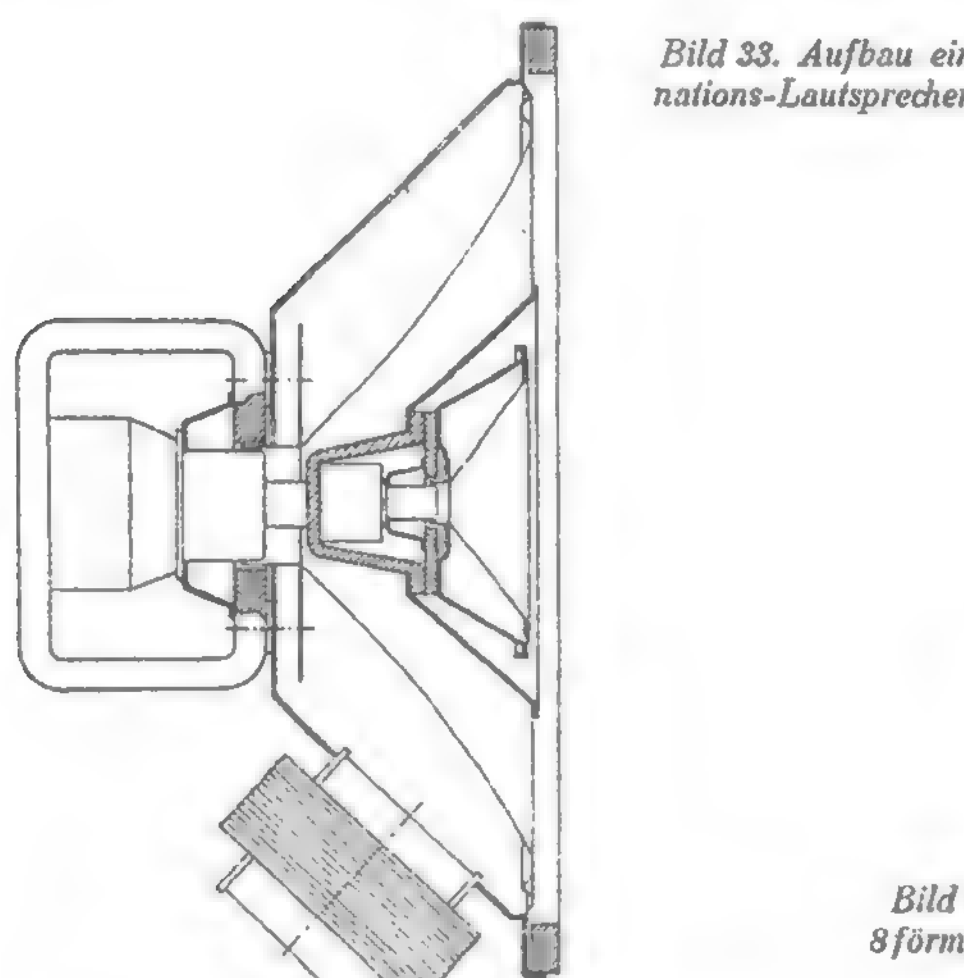


Bild 33. Aufbau eines Kombinations-Lautsprechers (Isophon)

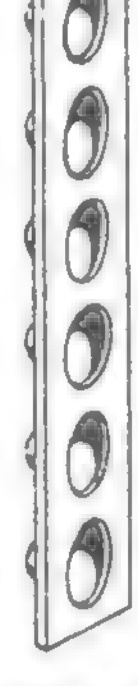


Bild 34. Strahlersystem mit 8förmiger Richtcharakteristik (Siemens)

Einfacher gelangt man zum Ziel der Frequenzverbreiterung, indem man einen schwingenden Hochtonkonus an Stelle eines ganzen Lautsprechersystems zusätzlich einführt. Ein besonders leichter Papier-Faserkegel ist in der Mitte der Membran befestigt und schwingt mit.

Strahlergruppen. Die Aufteilung einer stärkeren Schallquelle in mehrere schwächere hat in Bezug auf den sich ergebenden Schalleindruck wesentliche Vorteile. Die neuere Entwicklung hat zu den „geraden" Strahlergruppen geführt (die Lautsprecher befinden sich in grader Linie übereinander, **Bild 34**). Der Schall bündelt sich bei senkrecht stehender Strahlergruppe in horizontaler Ebene. Bei der früher üblichen

Anordnung mehrerer Lautsprecher an verschiedenen Stellen im Raum breitete sich der Schall kugelförmig nach allen Richtungen hin aus, so daß ein Teil der Schallwellen die Wände und Decken traf; das führte zu unerwünschter Reflexion. Durch die Strahlergruppen können hallige Räume zentral beschallt werden. Infolge der Richteigenschaften der

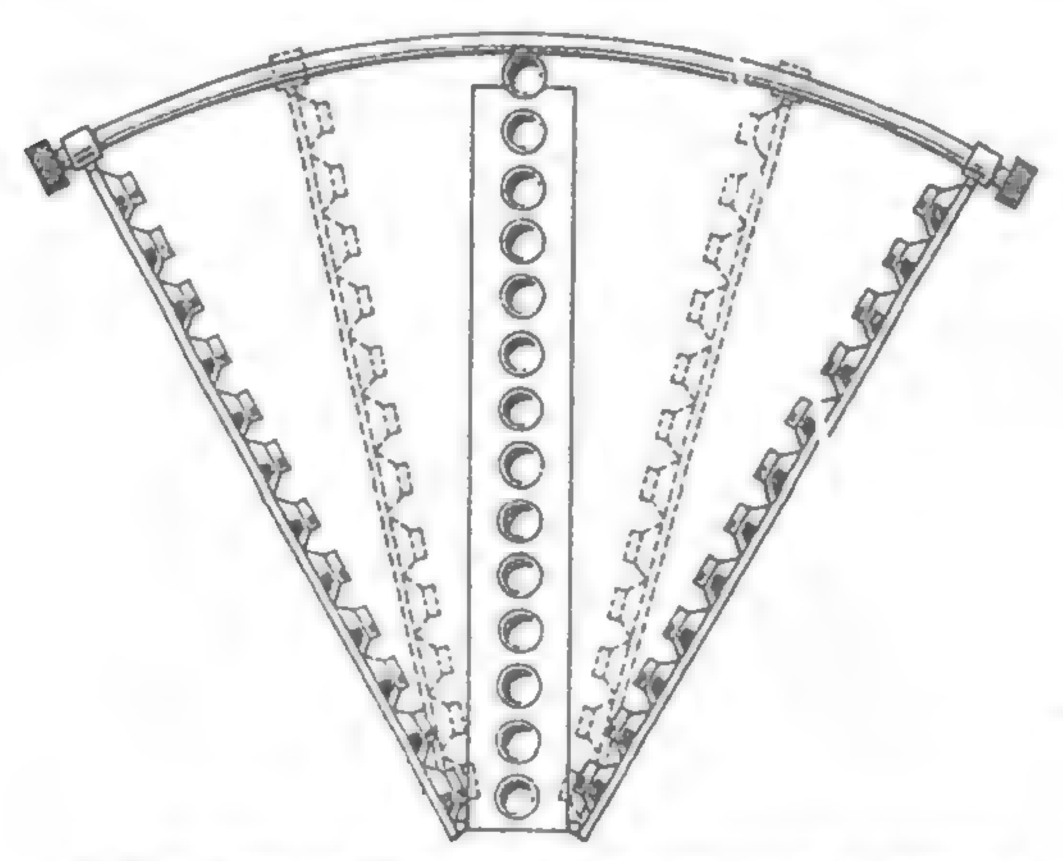


Bild 35. Tonkorb (Telefunken) für ampelartige Aufhängung

Strahlergruppe läßt sich die akustische Rückkopplung leichter vermeiden: Aufstellung des Mikrofons im toten Winkel. — Strahlergruppen werden u. a. in sog. Tonsäulen, Schallsäulen und Tonkörben verwendet; letztere fassen mehrere Strahlergruppen zusammen (**Bild 35**) und werden als Ampeln dort verwendet, wo eine zentrale Aufstellung z. B. einer Ton- oder Schallsäule nicht möglich ist. Eine Verstellung des Neigungswinkels erleichtert das Anpassen an die jeweiligen akustischen Verhältnisse. —

Die *Schallzeilen* haben eine einseitige Charakteristik, was in manchen Fällen den akustischen Verhältnissen im Raum sehr zugute kommt. Wie die in **Bild 36** dargestellte Richtcharakteristik zeigt, handelt es sich hier um eine Anordnung, bei der nach rückwärts keine nennenswerte Schallabstrah-

lung vorhanden ist. Die nierenförmige Richtwirkung dieser Zeile wurde durch den rückwärtigen Einbau eines Laufzeitgliedes erreicht, das eine Verstärkung des vorderseitigen Schalldrucks durch den von der Rückseite kommenden Schall bewirkt, während sich die beiden Schalldrucke hinter der

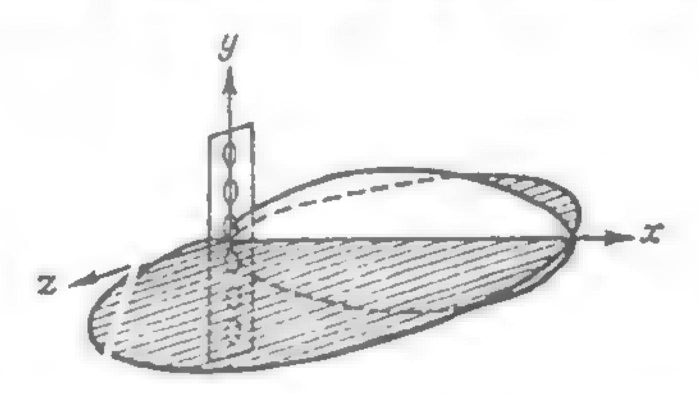


Bild 36. Nierencharakteristik der Siemens-Schallzeile

Zeile aufheben. — Bei diesen Zeilen tritt störender Rückschall durch Reflexionen nicht auf; es ist daher ohne weiteres möglich, ein Mikrofon in unmittelbarer Nähe, d. h. entweder etwas unterhalb oder hinter der Zeile zu besprechen, ohne akustische Rückkopplung befürchten zu müssen.

Lautstärke. Die Lautstärke ist ein Maß für die vom menschlichen Ohr empfundene Stärke des Schalls; es ist also ein dem Ohr angepaßtes Maß. Die empfundene Lautstärke steigt annähernd mit dem Logarithmus der tatsächlich vorhandenen Schallintensität. Die Einheit der Lautstärke ist das Phon. Als Normalschall dient bei der Messung eine ebene in der Luft fortschreitende sinusförmige Welle der Frequenz 1 000 Hz, die von vorn auf den Kopf des Beobachters trifft (beidohriges Abhören). Die Lautstärkeskala beginnt mit 0 Phon und endet bei 130 Phon (oberer Schallwert, Schmerzwelle).

In der folgenden Tabelle sind einzelne Phonwerte zusammengestellt; die entsprechenden Schalldrucke in Mikrobar und die Schallstärke in Watt/cm² sind hinzugefügt.

Phon	Art des Geräusches	Schalldruck in Mikrobar	Schallstärke in Watt/cm²
0	Hörschwelle	$2{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-16}$
10	Flüstern in einer Entfernung von 1,25 m, Blättersäuseln bei leichtem Wind	$6{,}324 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-15}$
20	Feiner Landregen, Geräusch in ruhigem Garten, in sehr ruhiger Wohnung, Blättersäuseln bei leichtem Wind, Uhrticken	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-14}$
30	Nahes Flüstern, Geräusch in Vorstadtstraße abends	$6{,}324 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-13}$
40	Zerreißen von Papier, ruhige Unterhaltungssprache, Tageslärm in Vorortgegend, leiser Rundfunkempfang	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-12}$
50	Straßenlärm mittlerer Stärke, Geräusche in großen Geschäftsräumen, mittlere Lautsprecher-Wiedergabe	$6{,}324 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-11}$
	Staubsauger, verkehrsreiche Straße, einzelne Schreibmaschine, angeregte Unterhaltung, Fahrgeräusch in einem Eisenbahnwagen, laute Lautsprecher-Wiedergabe (Zimmer), Bürolärm bei geschlossenem Fenster	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-10}$
70	Schreibmaschinensaal, Lärm in größerem Bierlokal, Straßenbahn auf gerader Strecke, leise Autohupe	$6{,}324 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-9}$
80	Schreien, lautes Rufen, Donnerrollen, Untergrundbahn, starker Straßenverkehr, laute Fabriksäle	2	$1 \cdot 10^{-8}$
90	Preßluftbohrer, laute Hupe, Lokomotivpfiff	6,324	$1 \cdot 10^{-7}$
100	Nieten, Kesselschmiede, Motorradgeknatter, Löwengebrüll	20	$1 \cdot 10^{-6}$
110	Lärm in Flugzeugkabinen (bis) Blechschmiede mit Preßlufthammer	63,24	$1 \cdot 10^{-5}$
120	Flugzeug in 3—4 m Entfernung	200	$1 \cdot 10^{-4}$
130	Schmerzschwelle (schmerzender Lärm)	632	$1 \cdot 10^{-3}$

Lautsprecher-Anpassung. Anpassung heißt aufeinander abgestimmte Bemessung des Widerstandsverhältnisses zwischen Tonfrequenzquelle und Verbraucher. Man unterscheidet zwei Hauptarten der Anpassung:

Die Leistungs- und die Spannungsanpassung. Das Nomogramm **Bild 37** gestattet eine einfache Ermittlung der Anpassungswerte. An einen 25-W-Kraftverstärker mit 200 Ohm Ausgang sollen z. B. mehrere 3-Watt-Lautsprecher angeschlossen werden Ihre Anpassungswerte sind mit 1 600, 3 200

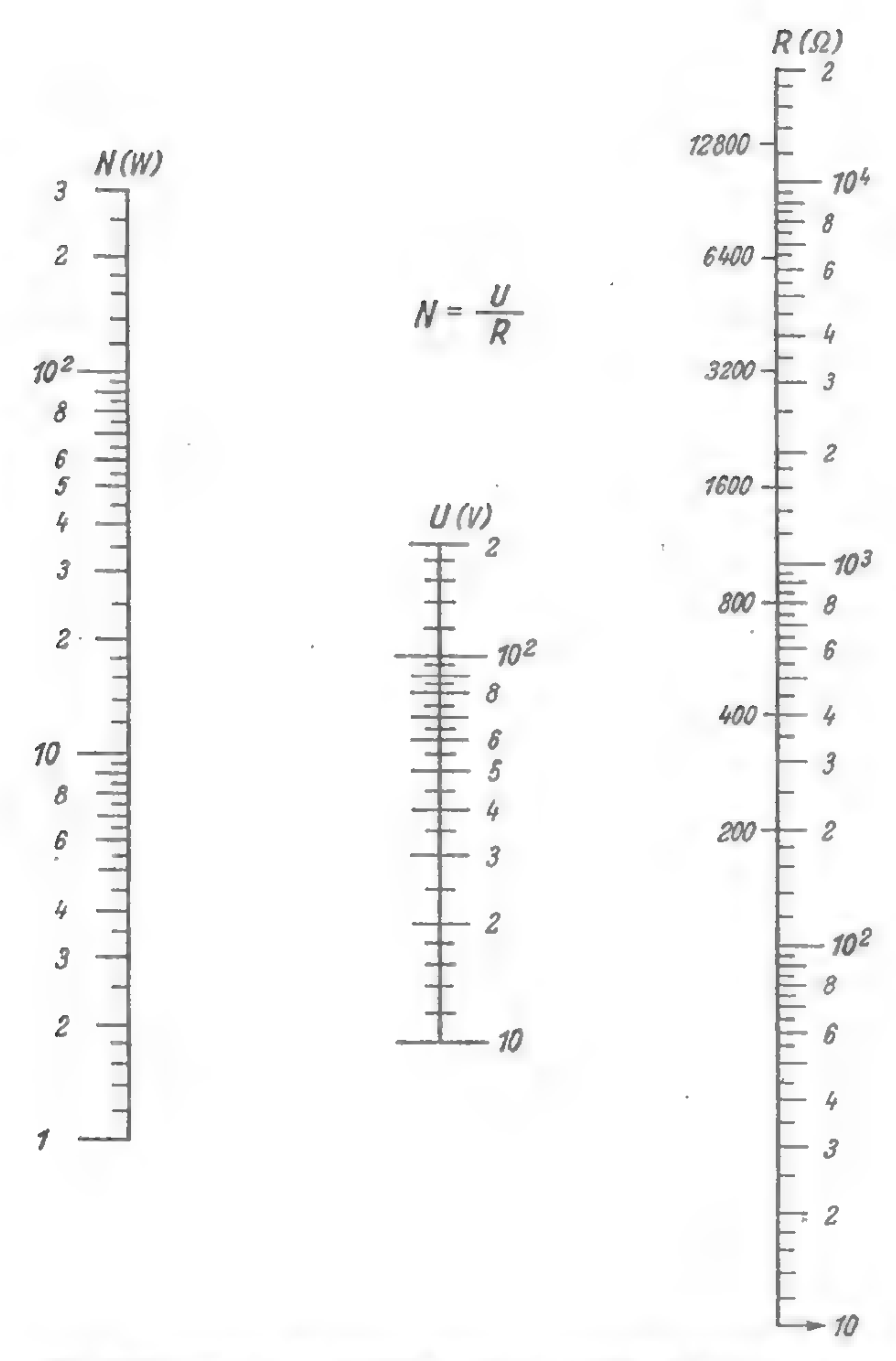


Bild 37. Nomogramm zur Ermittlung von Lautsprecher-Anpassungswerten

und 6 400 angegeben. Es ergeben sich die Fragen, welcher Anschluß zu wählen ist und wieviel Lautsprecher betrieben werden können. Der Punkt 25 Watt auf der N-Skala wird mit dem Punkt 200 Ohm auf der R-Skala verbunden. Die U-Skala wird durch die Verbindungslinie bei 70 Volt ge-

schnitten. Bei dem 1 600-Ohm-Anschluß (R) ergibt sich bei 70 Volt (U) eine Leistung von rund 2,5 Watt (N) je Lautsprecher. Bei der Verstärkerleistung von 25 Watt lassen sich 25 : 2,5 = 10 Lautsprecher anschließen. Auf ähnliche Weise läßt sich die erforderliche Verstärkerleistung errechnen bzw. aus dem Nomogramm ablesen.

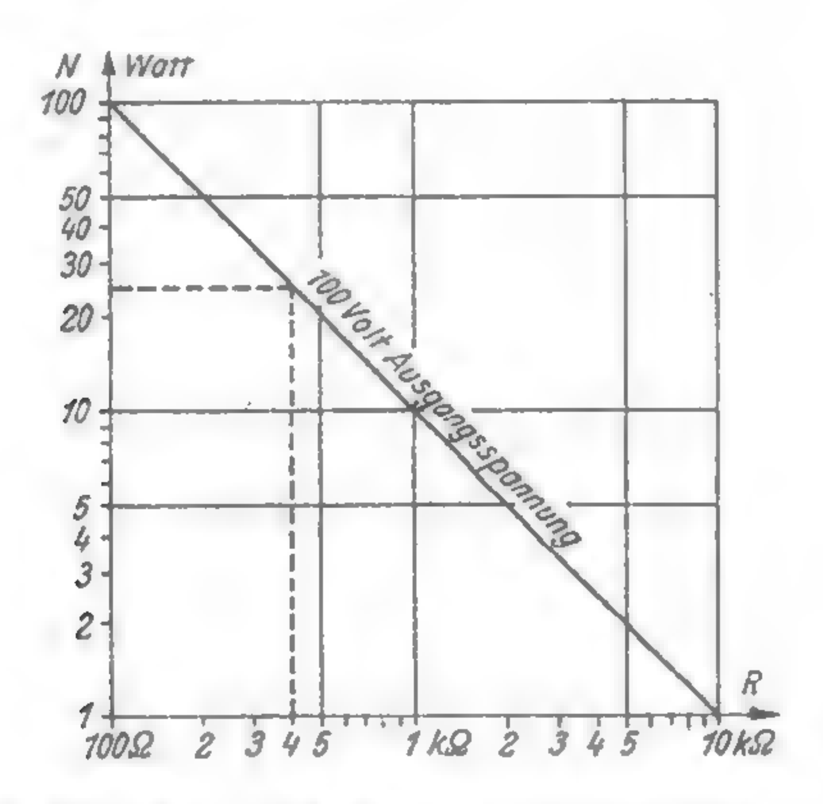


Bild 38. Grafische Darstellung zur Ermittlung von Lautsprecher-Anpassungswerten

Moderne Verstärker haben einen 100-Volt-Ausgang (laut Normungsvorschriften). Das erleichtert das Auffinden der richtigen Anpassung der Lautsprecher an den Verstärkerausgang. Wie aus Bild 38 hervorgeht, hat z. B. ein 25-Watt-Kraftverstärker einen Anpassungswert von 400 Ohm (ein 25-Watt-Lautsprecher hat denselben Anpassungswert). Aus der grafischen Darstellung lassen sich die zugehörigen Werte für jede Lautsprecherleistung ermitteln.

Beim 100-Volt-System sind die Verstärker so gebaut, daß sie ihre Nominalleistung bei einer Spannung von 100 Volt an den Ausgangsklemmen abgeben. — Die modernen Verstärker sind, insbesondere durch die Anwendung der Gegenkopplung, weitgehend belastungsunabhängig. Nach den Normvorschriften soll die Ausgangsspannung zwischen Leerlauf und Vollast um nicht mehr als 30 vom Hundert schwanken. Die Übertrager der Lautsprecher (Parallelschaltung) er-

halten eine Eingangsimpedanz, die so bemessen ist, daß bei Anschluß an das 100-Volt-System die maximale, vom Lautsprecher zu verarbeitende Energie aufgenommen wird. Da die Spannung festliegt, läßt sich leicht errechnen, welche Leistung dem Lautsprecher bei einem bestimmten Eingangswiderstand zugeführt wird:

$$R_{imp} = \frac{U^2}{N} \quad \begin{matrix}\text{(Ausgangsspannung}^2\text{)} \\ \text{(aufzunehmende Leistung)}\end{matrix}$$

(R_{imp} = Impedanz)

wobei U^2 beim 100-Volt-System immer 10 000 ist. Nachstehende Tabelle gibt die Eingangsimpedanzen der praktisch in Betracht kommenden Lautsprecherleistungen an:

Impedanz des Lautsprecher-Trafos Ohm	Aufgenommene Leistung (abgerundete Werte) Watt
100	100
140	71,5
200	50
500	20
1 000	10
1 500	6,6
2 000	5
2 500	4
3 000	3,3
3 500	3
4 000	2,5
4 500	2,2
5 000	2
5 500	1,8
6 000	1,6
7 000	1,4
8 000	1,25
9 000	1,1
10 000	1
12 000	0,8
14 000	0,7
20 000	0,5

Um bei gelegentlichen Abschaltungen von parallelgeschalteten Lautsprechern die Anpassungsverhältnisse zu erhalten, müssen für die weiterbetriebenen Lautsprecher entsprechend dimensionierte Widerstände eingeschaltet werden (Bild 39).

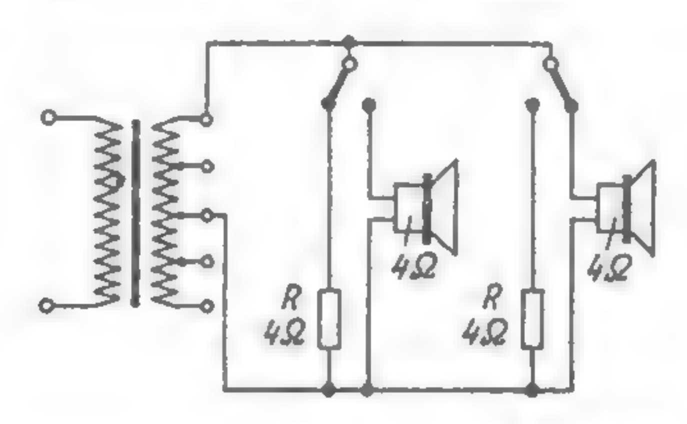


Bild 39. An Stelle abgeschalteter Lautsprecher müssen Widerstände eingeschaltet werden

Die Lautstärke L kann errechnet werden aus der Formel:

$$L = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} \quad \text{(in Phon)}$$

P_1 ist der Schalldruck bei 1 000 Hz, P_0 ist der als Bezugswert festgelegte Nullpegel von $2 \cdot 10^{-4}$ Mikrobar.

Die Schmerzschwelle mit 130 Phon wäre sehr schnell erreicht, wenn sich die Lautstärken mehrerer gleichzeitig wirkender Schallquellen einfach summieren würden. Das ist nicht der Fall. So ergeben 10 Schallquellen von je 12 Phon nicht eine Lautsärke von 120, vielmehr von 12+10, d. h. von 22 Phon. Zehn Schallquellen zu je 1 Phon addieren sich: 1+10=11 Phon. Das Zusammenwirken von Schallerzeugern geringer Lautstärken macht mithin relativ viel aus. Andererseits ergeben die Geräusche zweier Motorräder zu je 90 Phon in ihrem Zusammenwirken 92 Phon. 10 Motorräder mit je 90 Phon machen nur 100 Phon Lärm (siehe auch „Physiologische Akustik").

Lautstärken-Regelung. In der Rundfunktechnik unterscheidet man zwischen hochfrequenter und niederfrequenter Lautstärkenregelung. Bei der Hf-Regelung braucht man nur die Eingangsspannung durch einen Drehkondensator zu regeln. Praktisch wird vielfach ein Differentialkondensator in die Antennenleitung gelegt, damit die Belastung des ersten

Kreises durch die Antenne möglichst gleichmäßig bleibt **(Bild 40)**. Anwendung nur bei einfacheren Empfängern. — Eine andere Hf-seitige Lautstärkereglung besteht in der Zu-

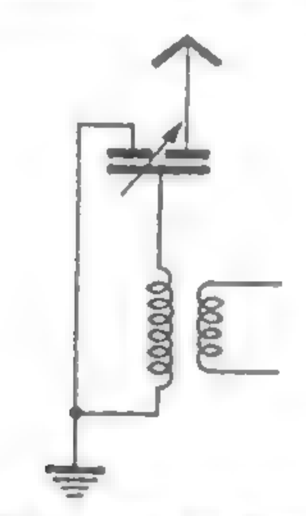




Bild 40. Hf-Lautstärken-Regelung

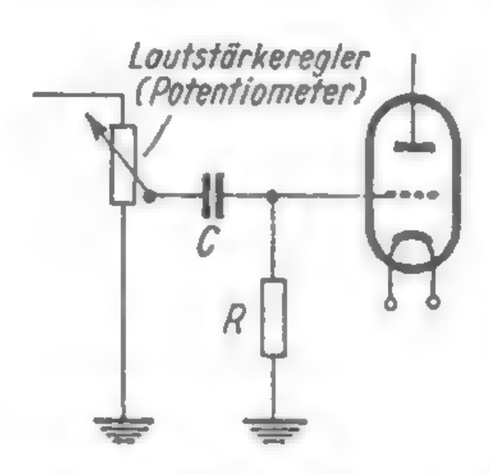


Bild 41. Nf-Lautstärken-Regelung vor dem Gitter der ersten Verstärkerröhre

schaltung eines veränderlichen Widerstandes in die Katodenleitung einer Hochfrequenz-Regelröhre, mit dem sich ihre Steilheit beeinflussen läßt. Vorteil der Hf-Regelung: Vermeidung von Übersteuerungen des Nf-Teils. Nachteil: der Netzton bleibt auch bei niedrigster Lautstärke erhalten.

Die niederfrequente Lautstärkeregelung kann durch hochohmige Potentiometer vor dem Gitter der ersten Nf-Verstärkerröhre oder dem der Endröhre vorgenommen werden **(Bild 41 und 42)**.

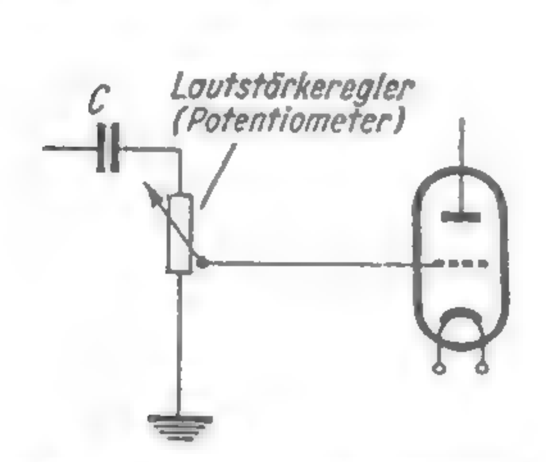


Bild 42. Nf-Lautstärken-Regelung vor dem Gitter der Endröhre

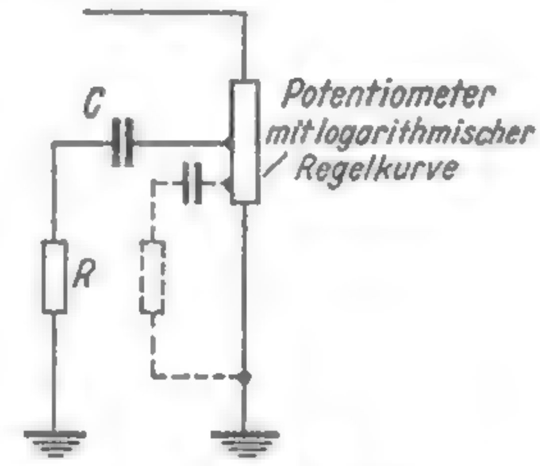


Bild 43. Schaltung zu „gehörrichtiger" Lautstärken-Regelung

Die einfachen Potentiometerschaltungen haben den Nachteil, daß die tieferen Frequenzen bei verringerter Lautstärke besonders stark unterdrückt werden (Ursache: Verminderung der Gehörempfindlichkeit für tiefe Töne bei kleinen Laut-

stärken; siehe auch unter „Physiologische Akustik"). Abhilfe durch Zuschaltung von Parallelkreisen mit Kapazität und Widerstand **(Bild 43)**.

Lichtton. Grundsätzlich: Tonfrequenz wird in entsprechende Lichtschwankungen umgesetzt, die ihrerseits die empfindliche Schicht eines mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorbeigezogenen Films beeinflussen (fotografierter Ton). Das Licht fällt durch einen schmalen Spalt von 2,3 mm Länge und 15 μ Breite auf den Film und belichtet ihn mehr oder weniger.



Bild 44. Sprossenschrift

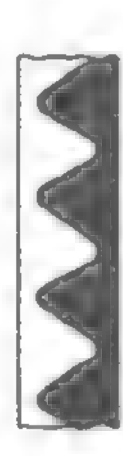


Bild 45. Zackenschrift (Einzackenschrift)

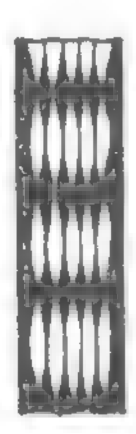


Bild 46. Mehrzackenschrift

Es gibt eine Reihe verschiedener Verfahren. Bei dem *Intensitätsverfahren* ändert sich die Lichtintensität des gesamten Spaltbildes. Auf dem Film entstehen parallele Streifen gleicher Breite aber verschiedener Schwärzung **(Bild 44)**. — Bei dem *Longitudinal*-Verfahren bleibt die Lichtintensität konstant, ebenso die Spaltlänge, geändert wird die Spaltbreite. Auf dem Film entsteht „Sprossenschrift". Beim *Transversalverfahren* bleiben Lichtintensität und Spaltbreite konstant, geändert wird die Spaltlänge. Es entsteht „Zackenschrift" **(Bild 45)**. Die Aufzeichnung kann auch derart erfolgen, daß Mehrzackenschrift entsteht **(Bild 46)**.

Zur Erzeugung der Intensitätsschrift ist eine Lichtquelle erforderlich, die eine den tonfrequenten Schwankungen proportionale Steuerung des Lichtstromes ermöglicht. Man verwendet entweder Gasentladungslampen, Kerrzellen oder mechanische Lichtschleusen. Das Prinzip zeigt **Bild 47**. —

Während die Gasentladungslampen selbst Lichtquellen sind, kann man die Kerrzelle als Lichtrelais ansehen: unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes wird Nitrobenzol

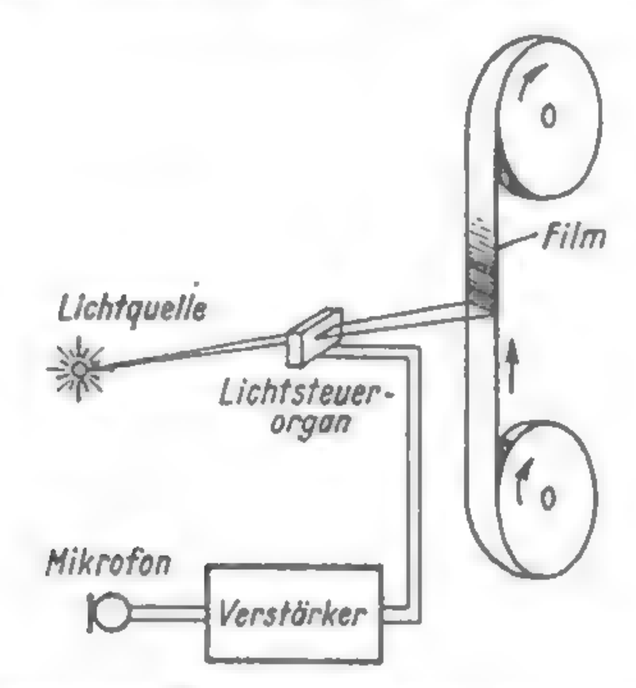


Bild 47. Schema der Filmbelichtung beim Intensitätsverfahren

doppelbrechend (ein elektrooptischer Effekt, den auch einige Kristalle zeigen). **Bild 48** läßt die Anordnung erkennen. Der Lichtstrahl geht vor und hinter der Zelle durch ein Nicolsches

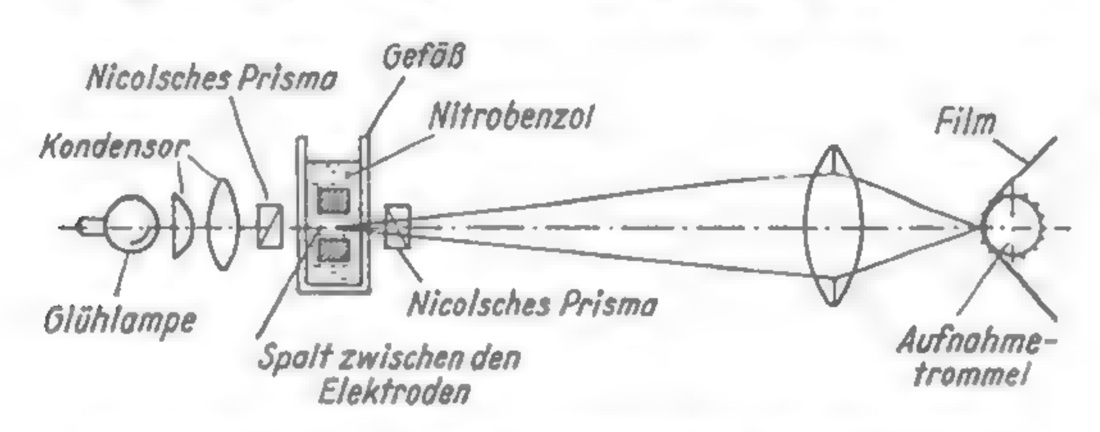


Bild 48. Anordnung einer Kerrzellen-Ton-Optik (schematisch)

Polarisationsprisma. Da die Nicols gekreuzt sind, gelangt der Lichtstrahl nicht durch die Anordnung hindurch. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektroden der Kerrzelle tritt mit zunehmender Doppelbrechung eine Aufhellung ein.

Longitudinal- und Transversal-Verfahren (Amplitudenschrift) benutzen u. a. ein Oszillografensystem, das in der Tonfilmtechnik mit „Lichthahn" bezeichnet wird. Das Prinzip zeigt **Bild 49.** Man unterscheidet den „dynamischen" Lichthahn **(Bild 50)** und den „magnetischen" Lichthahn **(Bild 51).**

Für die Wiedergabe ist es gleichgültig, welches Verfahren bei der Aufnahme zur Verwendung kam. Eine Fotozelle setzt die Lichtschwankungen, die sie bei der Durchleuchtung des

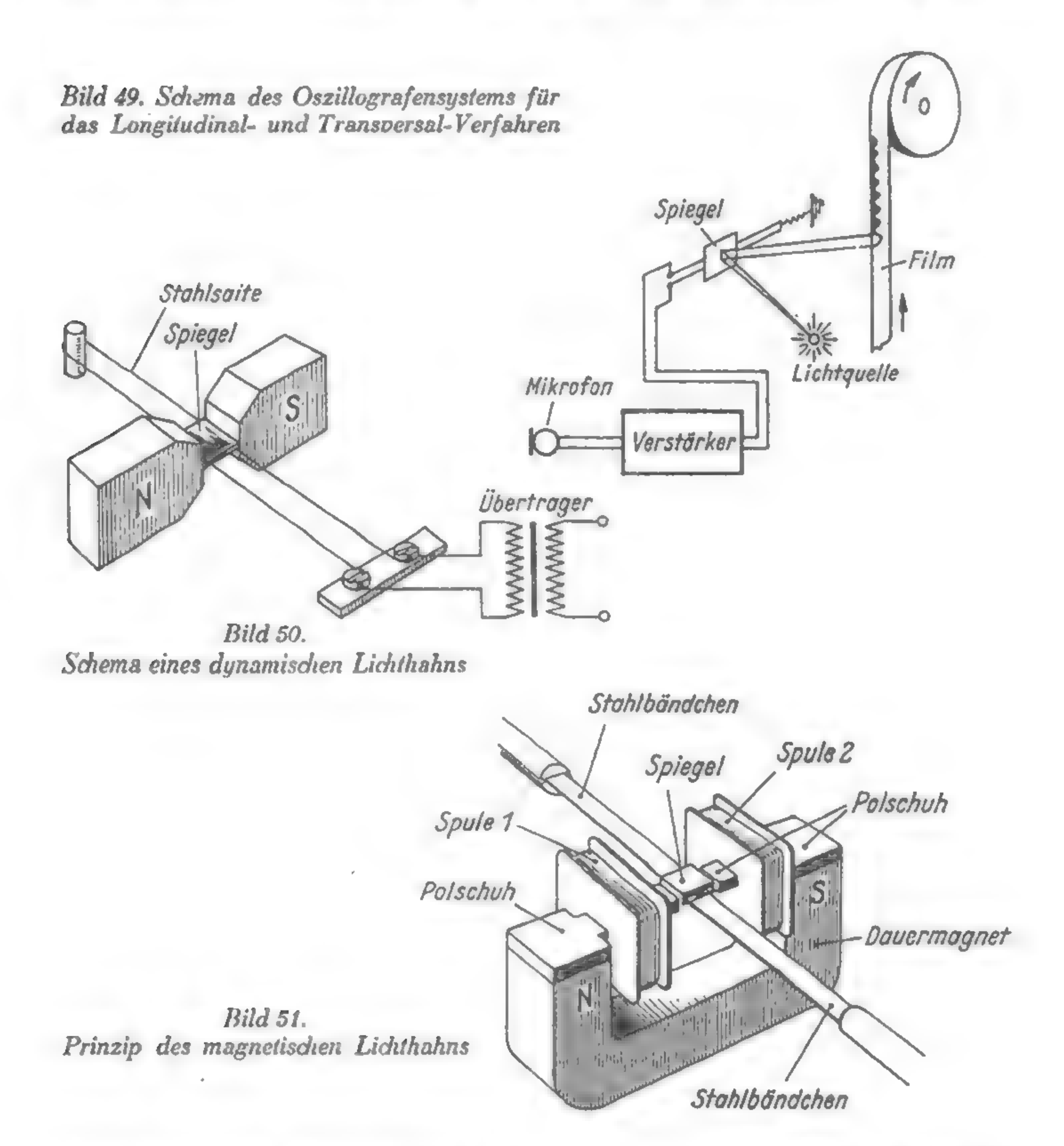


Bild 49. Schema des Oszillografensystems für das Longitudinal- und Transversal-Verfahren

Bild 50. Schema eines dynamischen Lichthahns

Bild 51. Prinzip des magnetischen Lichthahns

Films erhält, in elektrische Stromschwankungen um, die über einen Verstärker dem Lautsprecher zugeführt werden.

Lineare Verzerrungen. Ein Verstärker verursacht lineare Verzerrungen, wenn seine Verstärkung frequenzabhängig ist (Abfallen der Tiefen oder Höhen bei der Verstärkung).

Im Gegensatz zu den nichtlinearen Verzerrungen findet keine Änderung der ursprünglichen Kurvenform statt: es entstehen keine neuen, d. h. zusätzlichen Tonfrequenzen.

Löschkopf siehe unter Magnetton.

M

Magnetton. Schallträger ist ein magnetisierbares Band (bzw. Stahldraht, Stahlband). Am besten hat sich ein Filmband mit dünn aufgetragener magnetisierbarer Schicht bewährt (Magnetophonband). Material des Filmbandes Acetylcellulose; Stärke 30 Mikron (30 tausendstel Millimeter). Breite 6,35 mm. Die Schicht hat eine Dicke von etwa 20 Mikron und besteht aus einem Celluloselack mit Einbettungen von pulverisiertem Eisenoxyd (Magnetit). Bei den sogenannten L-Bändern sind die magnetisierbaren Teilchen gleichmäßig im Trägermaterial (Igelit) verteilt. Neuere Verfahren verwenden ein hochlegiertes Magnetmaterial in Pulverform, z. B. Alnico.

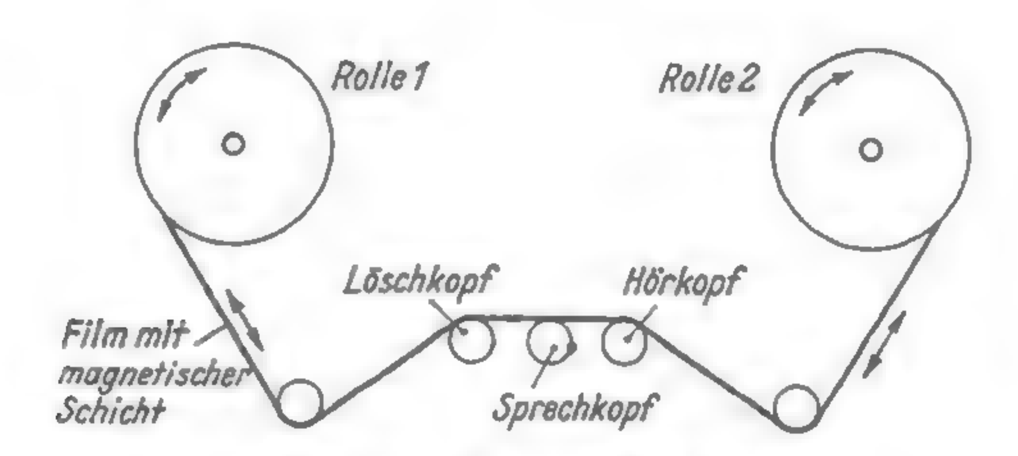


Bild 52. Schema einer Magnetophon-Anlage

Das Band wird an einem „Sprechkopf", einem „Hörkopf" und einem „Löschkopf" mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorbeigezogen **(Bild 52)**, bei hohen Ansprüchen mit 76 cm (genau 76,2 cm = 30 Zoll) in der Sekunde. Niedrigste Bandgeschwindigkeit etwa 9 cm je Sekunde. Die Sprech- und Hörköpfe haben ringförmige oder rechteckige Form und sind mit einer Spule versehen, durch die Tonfrequenz geschickt bzw. von

denen tonfrequente Spannungen abgenommen werden. Ein Luftspalt ist dem Band zugekehrt. (Spaltbreite beim Sprechkopf 0,03 bis 0,04 mm, beim Hörkopf 0,015 bis 0,02 mm, beim Löschkopf 0,20 bis 0,40 mm). Wird die Sprechkopfspule mit tonfrequentem Strom beschickt, so werden die entsprechenden Magnetisierungsschwankungen im Kern durch die Streuung

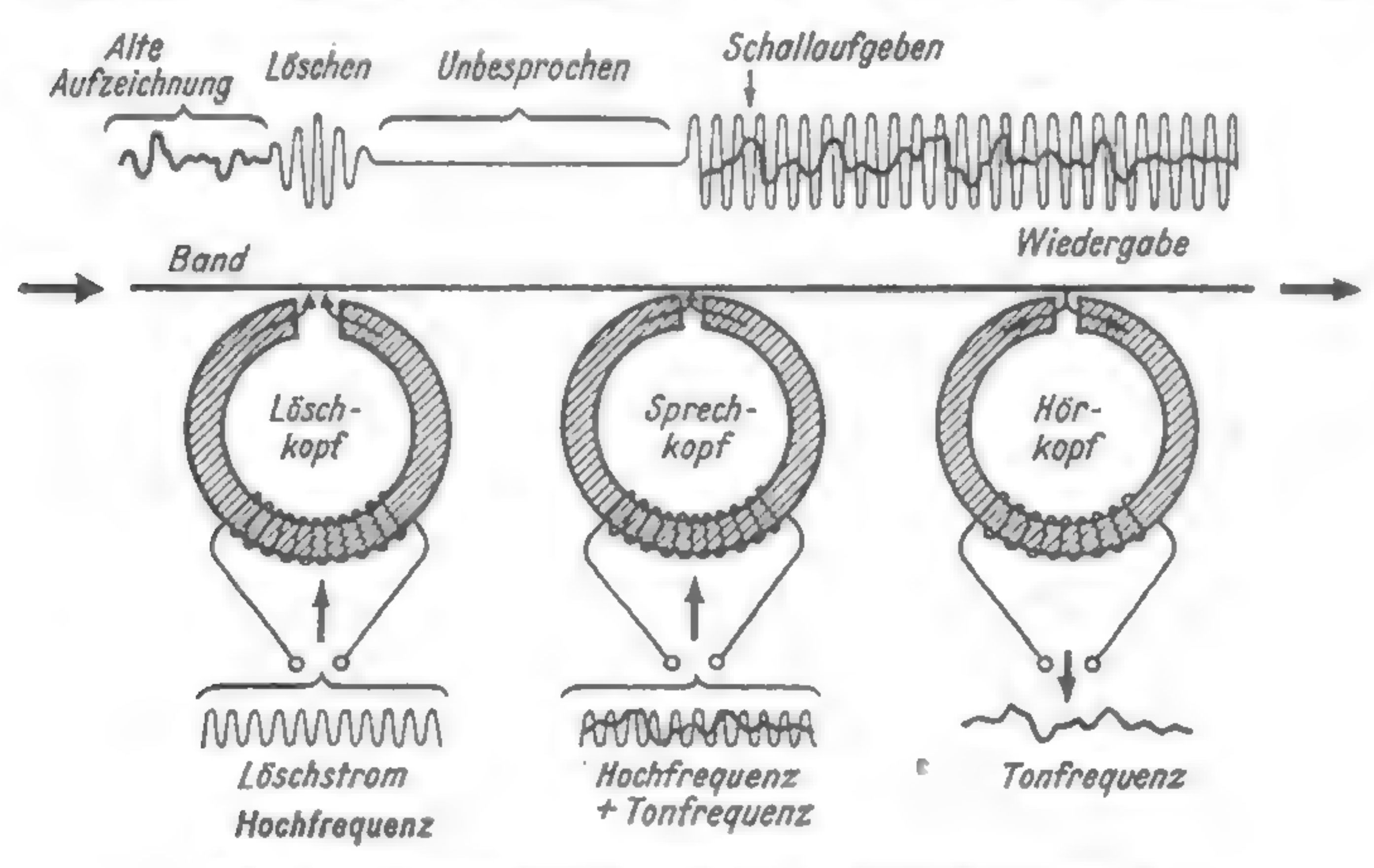


Bild 53. Magnetisierungsvorgänge beim Magnetophonverfahren

der Feldlinien am Luftspalt auf die magnetisierbaren Teilchen des Bandes übertragen, die sich dabei umlagern. Mit dem Hörkopf kann der in magnetischer Form aufgegebene Ton abgenommen werden, durch den Löschkopf kann die tonfrequente Magnetisierung aufgehoben werden. Zu diesem Zweck beschickt man die Spule des Löschkopfes mit Gleichstrom oder mit Wechselstrom zwischen 40 und 60 Kilohertz. Dabei werden die Teilchen mehrfach ummagnetisiert, so daß dadurch die alte Aufnahme zerstört wird. — Bei modernen Verfahren wird dem Sprechkopf gleichzeitig mit den tonfrequenten Schwingungen Hochfrequenz zugeführt. Man erzielt dadurch eine klarere Wiedergabe und Störgeräuschfreiheit. (Siehe schematische Darstellung **Bild 53**).

Die Frequenzkurve der Hochfrequenz-Magnetophone verläuft gradlinig zwischen 30 Hz und 15 000 Hz. Klirrfaktor 2%.

Anhebungen an Abfallstellen durch übliche Methoden möglich. Die Dynamikwerte liegen bei etwa 60 db, beim Gleichstromverfahren (Gleichstromvormagnetisierung) bei 38 db. (Im Vergleich dazu: Tonfilm 53 db, Wachsplatte 52 db, Kunstharzplatte 42 db; Lautstärkeumfang eines großen Orchesters etwa 75 db; unmittelbare Übertragung mit einem hochwertigen Mikrofon läßt 70 db erreichen).

Das Dimafon-Verfahren, das vor allem für Diktierzwecke entwickelt wurde, verwendet eine mit Rillen versehene magnetisierbare Platte (ähnlich einer Schallplatte). Der Sprechkopf ist am Ende eines schwenkbaren Armes wie ein Tonabnehmer angebracht, er ist gleichzeitig Hörkopf. — Die Platte besteht aus einem unmagnetischen Träger, auf den beiderseitig mit Eisenoxydpulver präparierte Folien von 0,1 mm Stärke aufgepreßt sind. In das Material eingepreßte Rillen führen den Sprechkopf während des Betriebes. — Ein Löschmagnet ist besonders angebracht.

Vgl. Wolfgang Junghans, Magnetbandspieler-Praxis. 64 Seiten mit 36 Bildern und 3 Tabellen. Band 9 der „Radio-Praktiker-Bücherei". Franzis-Verlag, München.

Martenot-Gerät siehe Elektrische Musik.

Melodiekurve. Laufende Aufzeichnung der Grundtonhöhe von Sprachklängen in Worten und Sätzen; läßt Schlüsse z. B. auf Gesangs- und Atemtechnik zu.

Mikrobar siehe bei Millibar.

Mikrofone. Die Mikrofone sind die wichtigsten Glieder elektroakustischer Anlagen, stehen sie doch am Anfang der Übertragung. Es wird vor allem gefordert: Frequenzunabhängigkeit, möglichst große Freiheit von nichtlinearen Verzerrungen, hohe Empfindlichkeit.

Kontaktmikrofone sind am häufigsten vertreten (Fernsprechtechnik). Vorteile: hoher Wirkungsgrad. Nachteile: starke Verzerrungen. Für die Ansprüche der Rundfunk-, Tonfilm- und Schallplatten-Technik reichen sie nicht aus. Die üblichen Kontaktmikrofone (Kohlekörnermikrofone) sprechen auf Schalldruck an: Zusammenpressen des Kontaktmaterials

verringert den Widerstand, daher Stromschwankungen im Mikrofonstromkreis (mit Batterie) entsprechend den auftreffenden Schallimpulsen. Kontaktmaterial: feine Anthrazit-Körn-

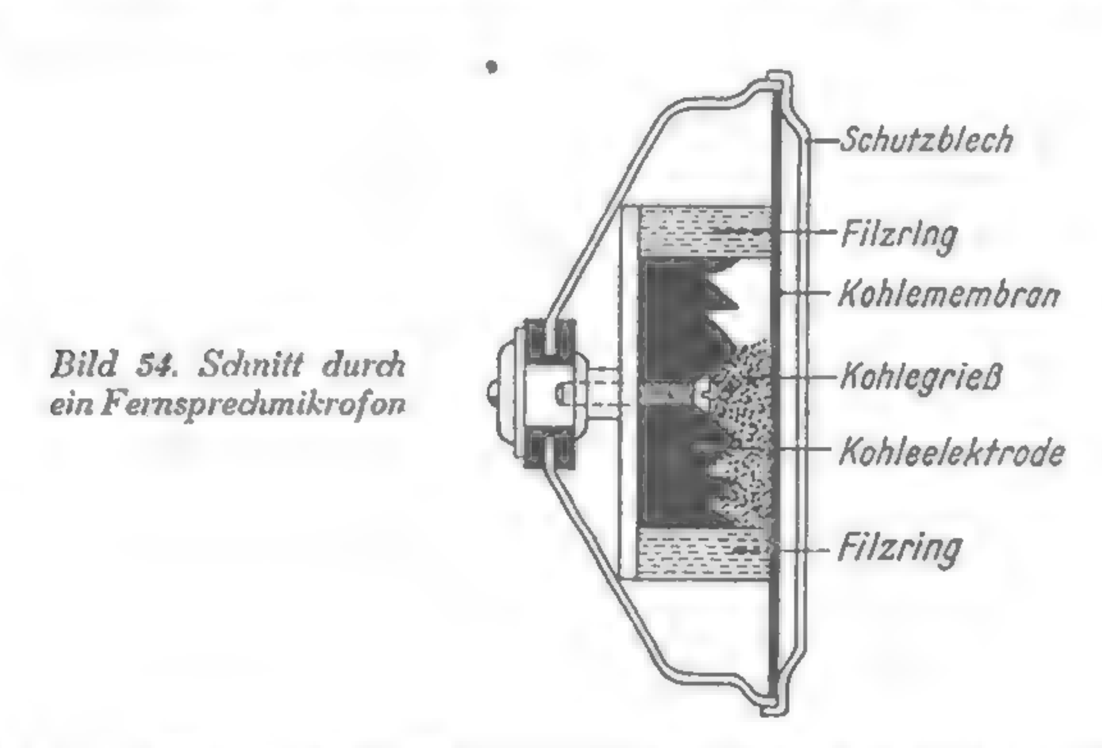


Bild 54. Schnitt durch ein Fernsprechmikrofon

chen (0,1 bis 0,5 mm Durchmesser). Es befindet sich zwischen zwei aus Anthrazitpulver gepreßten Elektroden (Längsstrommikrofon). Fernsprechmikrofon im Schnitt **Bild 54.** Den Schnitt durch ein hochwertiges Kontaktmikrofon, wie es besonders in den Anfängen des Rundfunks verwandt wurde, zeigt **Bild 55** (Querstrommikrofon). Schaltung der Mikrofone

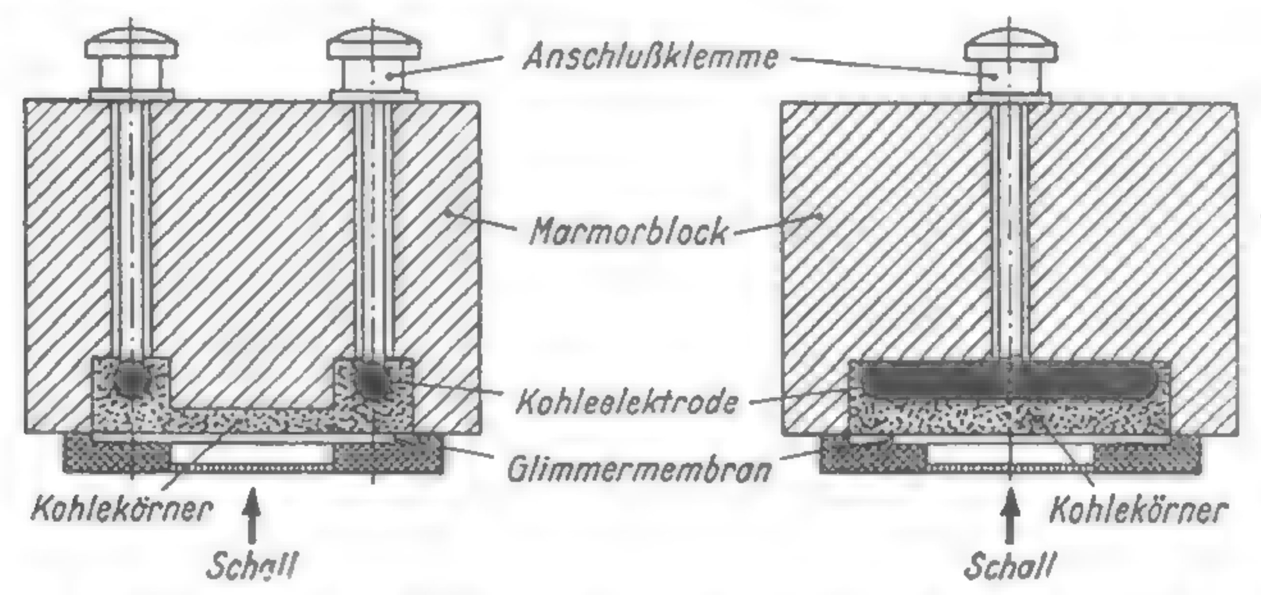


Bild 55. Schnitt durch ein Kontaktmikrofon (Reißmikrofon). Die Membran kann auch aus Gummi bestehen

(Bild 56) über Transformator (niederohmige Mikrofontransformatoren 1 : 25 bis 1 : 30, hochohmige Trafos 1 : 5 bis 1 : 8). Gleichspannungsquelle 2 bis 8 Volt.

Kondensatormikrofone (kapazitive M.) sind hochwertige Systeme. Prinzip: Die Schallaufnahmemembran bildet mit einer Platte in geringem Abstand von ihr einen Kondensator,

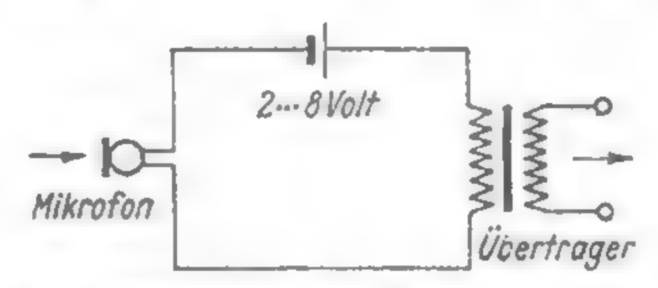


Bild 56. Schaltung eines Kontakt-Mikrofons

dessen Kapazität sich entsprechend den Membranschwingungen ändert. Die Mikrofonkapazität beträgt etwa 100 pF. Die Grundschaltung zeigt **Bild 57.** R ist ein Widerstand von 40 bis 80 MΩ, E eine Gleichspannungsquelle von 100 Volt.

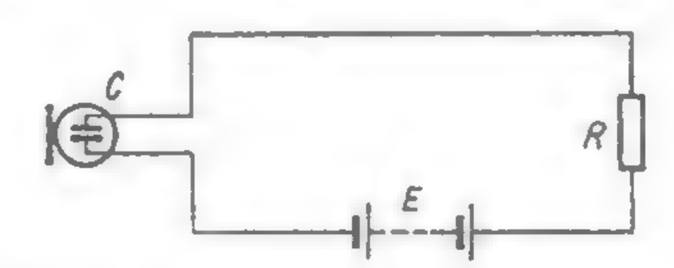


Bild 57. Schaltung eines Kondensator-Mikrofons

Ändert sich der Kapazitätswert von C, so ändert sich auch die Spannung an den Kontakten des Kondensatormikrofons und entsprechend an R. — Diese „Niederfrequenzschaltung" ist üblich. — In der Hochfrequenzschaltung **(Bild 58)**, die

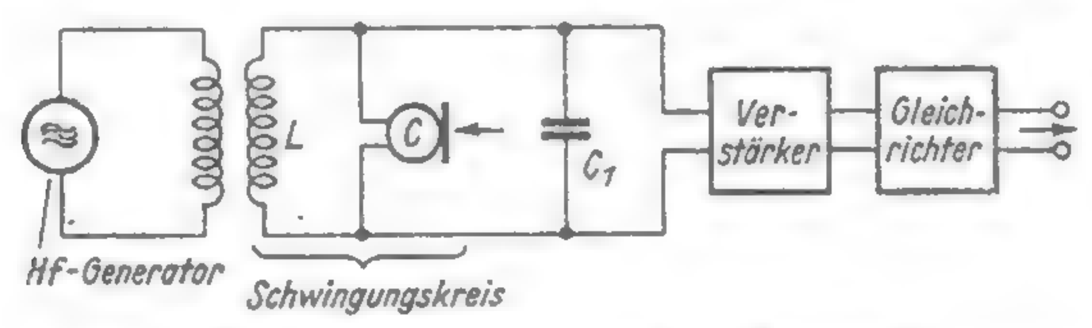


Bild 58. Hochfrequenzschaltung eines Mikrofons

wenig verwendet wird, ändert das Mikrofon als Kapazität eines Schwingkreises die Eigenfrequenz des letzteren und moduliert die Amplitude einer Hf-Spannung; Gleichrichtung ergibt die Nf-Spannung.

Kondensatormikrofone werden direkt mit der ersten Verstärkerröhre zusammengebaut, da die Empfindlichkeit bei

angeschlossener längerer Leitung zurückgeht; Schaltung: **Bild 59.**

Kondensatormikrofone haben einen sehr geringen Klirrfaktor (unter 1%) und eine sehr ausgeglichene Frequenzkurve. Empfindlichkeit etwa 0,6 mV/µbar. (Siehe auch **Bilder 64 und 67**).

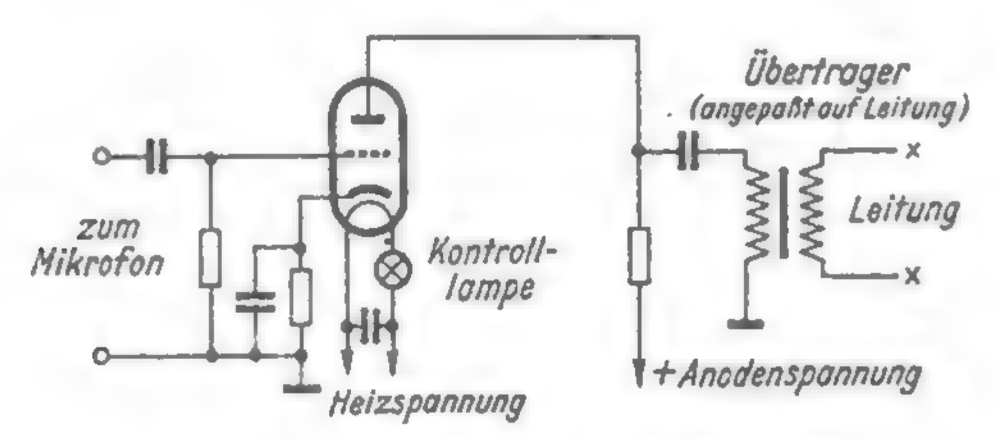


Bild 59. Schema eines Mikrofon-Verstärkers

Dynamische Mikrofone. Man unterscheidet Bändchen- und Tauchspulenmikrofone. Die letzteren sind häufiger vertreten. Prinzip in beiden Fällen: ein Leiter befindet sich in einem starken Magnetfeld (zwischen den Polen eines Elektro- oder Permanent-Magneten) und wird durch auftreffende Schallwellen in Schwingungen versetzt. Im Leiter werden dabei Wechselspannungen entsprechender Frequenz erzeugt.

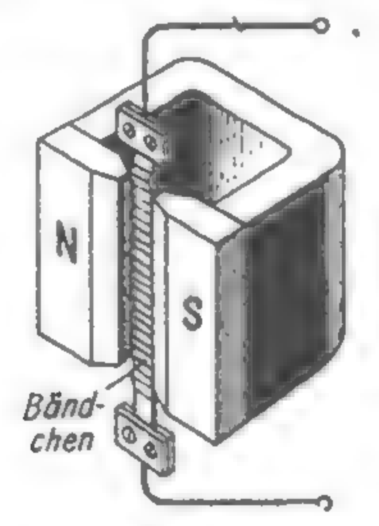


Bild 60. Prinzip des Bändchenmikrofons

Bei den Bändchenmikrofonen wird der Leiter selbst direkt beeinflußt: er besteht aus einem gewellten Aluminiumband als Membran (**Bild 60**), mit einer Stärke von 2 bis 5 Mikron, einer Breite von 3 bis 4 mm und einer Länge von etwa 5 cm.

Der geringe Widerstand von 0,1 Ohm wird über einen Übertrager einem Leitungswiderstand von 200 Ohm angepaßt. Bändchenmikrofone sind mechanisch sehr stabil. Ihre Frequenzkurve ist nicht ganz so günstig, wie die von Kondensatormikrofonen.

Tauchspulenmikrofone sind dynamische Lautsprecher mit umgekehrten Funktionen: Eine Tauchspule, befestigt an einer im Verhältnis zum Lautsprecher sehr kleinen Membran, taucht in ein ringförmiges Magnetfeld. — Die abgegebene Spannung ist höher als beim Bändchenmikrofon. Moderne Ausführungen zeichnen sich durch sehr gute Frequenzkurven aus, die bis über 10 000 Hz linear sind. Nichtlineare Verzerrungen treten kaum auf.

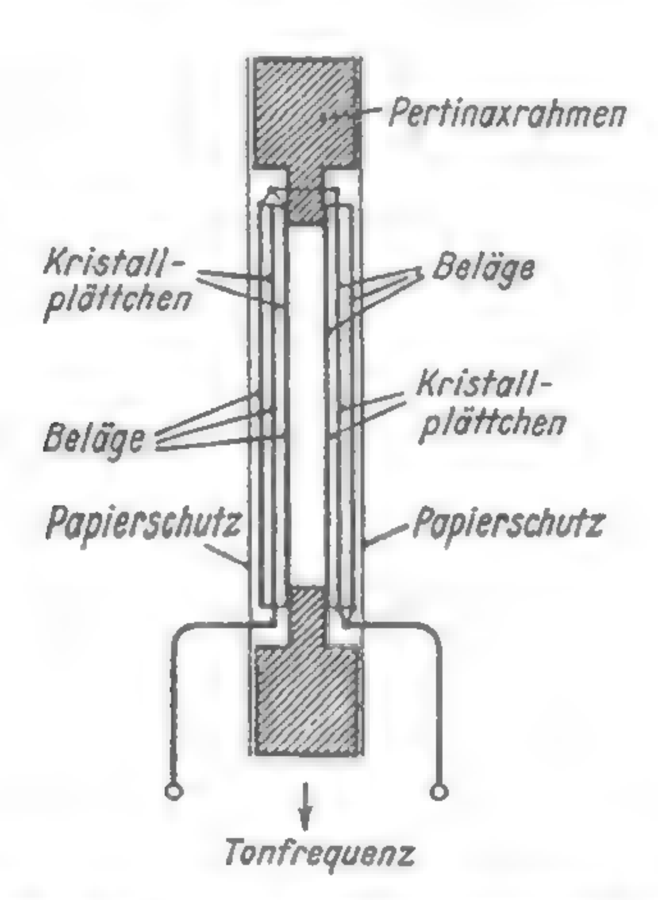


Bild 61. Schema der Klangzelle eines piezoelektrischen Mikrofons

Kristallmikrofone (piezoelektrische). Bestimmte Kristalle (Turmaline, Quarze, Seignettesalze) zeigen eine elektrische Ladung an ihrer Oberfläche, wenn auf sie Druck ausgeübt wird (piezoelektrischer Effekt). Die Seignettesalze sind in dieser Hinsicht am empfindlichsten und können zum Bau von Mikrofonen Verwendung finden. Man schneidet aus den besonders gezüchteten Kristallen in ganz bestimmter Richtung

Plättchen von etwa 0,3 mm Stärke und belegt sie auf beiden Seiten mit Stanniol. Zwei solcher Anordnungen werden zu einer Doppelplatte zusammengeklebt. Bei Biegebeanspruchung wird ein Kristall gedehnt, das andere verkürzt. Die an den Belegen auftretenden Spannungen addieren sich. Nach **Bild 61** werden zwei Doppelplatten zu einer „Klangzelle"

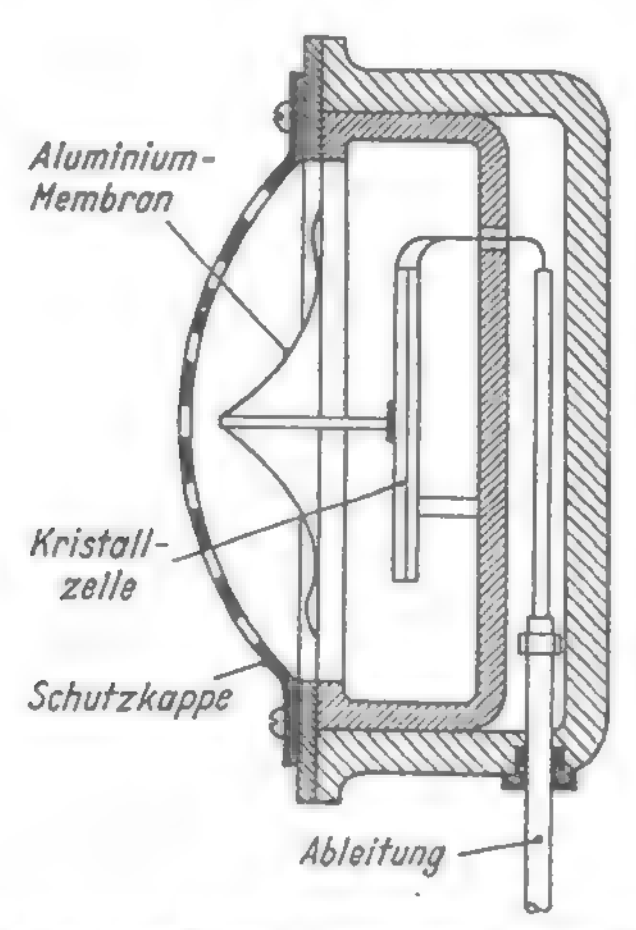


Bild 62. Schnitt durch ein Kristall-Membranmikrofon (Philips)

vereint (luftdichter Abschluß des Zwischenraumes). Eine Klangzelle hat eine Oberfläche von etwa 1 cm². Mehrere Zellen können zu einer Einheit zusammengefaßt werden. Empfindlichkeit 0,2 bis 0,5 mV/µbar. Neben der Klangzellenausführung werden die empfindlicheren Membranmikrofone hergestellt; schematischer Aufbau siehe **Bild 62.** Empfindlichkeit 0,8 bis 1,5 mV/µbar. — Angeschlossene Leitungslängen bis etwa 10 m zwischen Mikrofon und Verstärker sind ohne Empfindlichkeitsverminderung möglich, da der Kapazitätswert des Mikrofons mit 1000 pF relativ hoch ist. Verwendung u. a. als Knopflochmikrofone.

Der *Richteffekt* spielt bei den Mikrofonen eine wichtige Rolle. Man kann für jedes System eine Richtcharakteristik

angeben, die nach der jeweiligen Frequenz verschieden ist. Die Charakteristik ist kreis- bzw. kugelförmig bei Mikro-

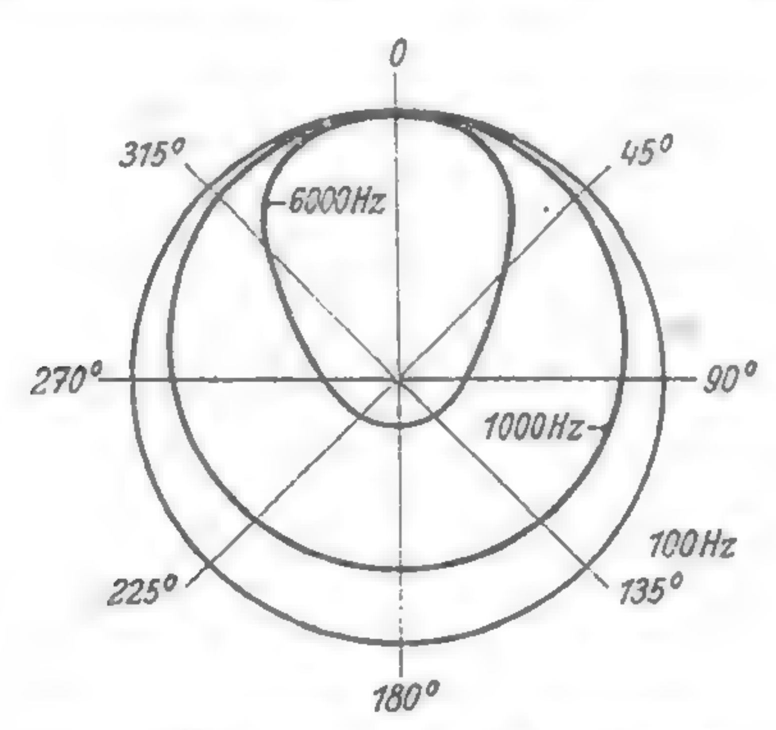


Bild 63. Richtwirkungskurve eines Mikrofons

fonen, die auf Schalldruck ansprechen. Voraussetzung sind kleine Abmessungen des Mikrofons. In der Praxis werden die senkrecht zur Membran einfallenden Schallstrahlen bevor-

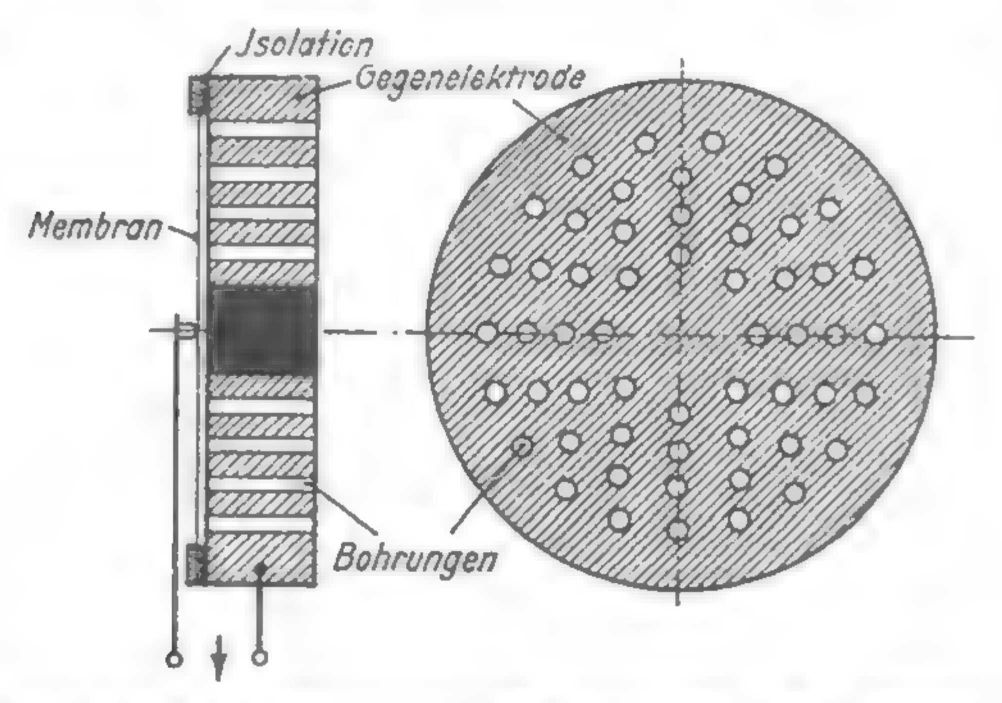


Bild 64. Kapsel eines Kondensatormikrofons (schematisch) mit Achtercharakteristik

zugt aufgenommen. **Bild 63** zeigt eine solche Charakteristik, bei der die verschiedenen Frequenzen berücksichtigt sind.

Wenn beide Seiten der Membran dem Schallfeld ausgesetzt sind, wie z. B. bei dem Kondensatormikrofon nach **Bild 64**,

bei dem die Gegenelektrode und ihre Unterlage durchbohrt sind, ergibt sich eine Achtercharakteristik nach **Bild 65.**

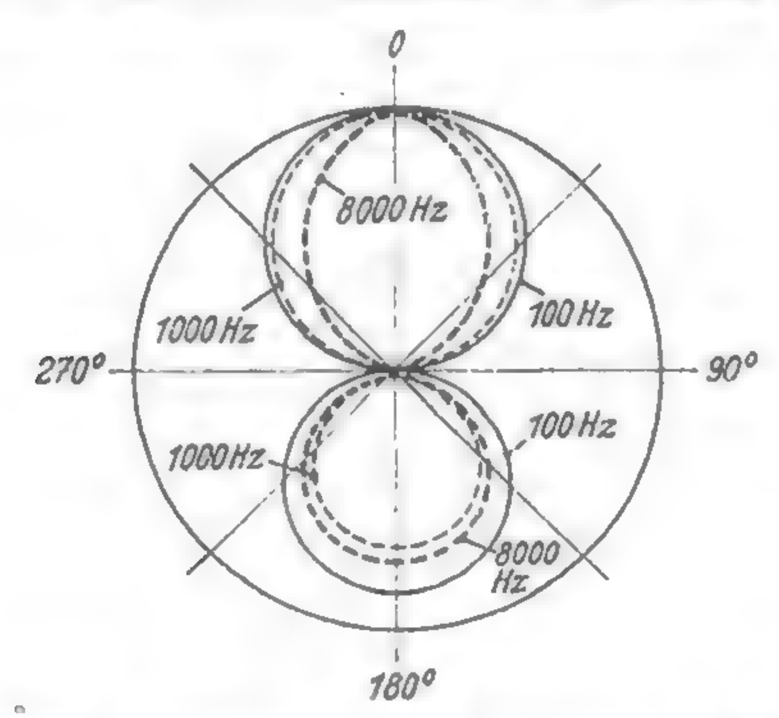


Bild 65. Richtcharakteristik des Mikrofons nach Bild 64

Die Form einer Kardioide in **Bild 66** (Nierencharakteristik) ergibt sich z. B. bei dem Kondensatormikrofon der in **Bild 67** gezeigten Form (einseitige Richtkurve). Jedenfalls hat man

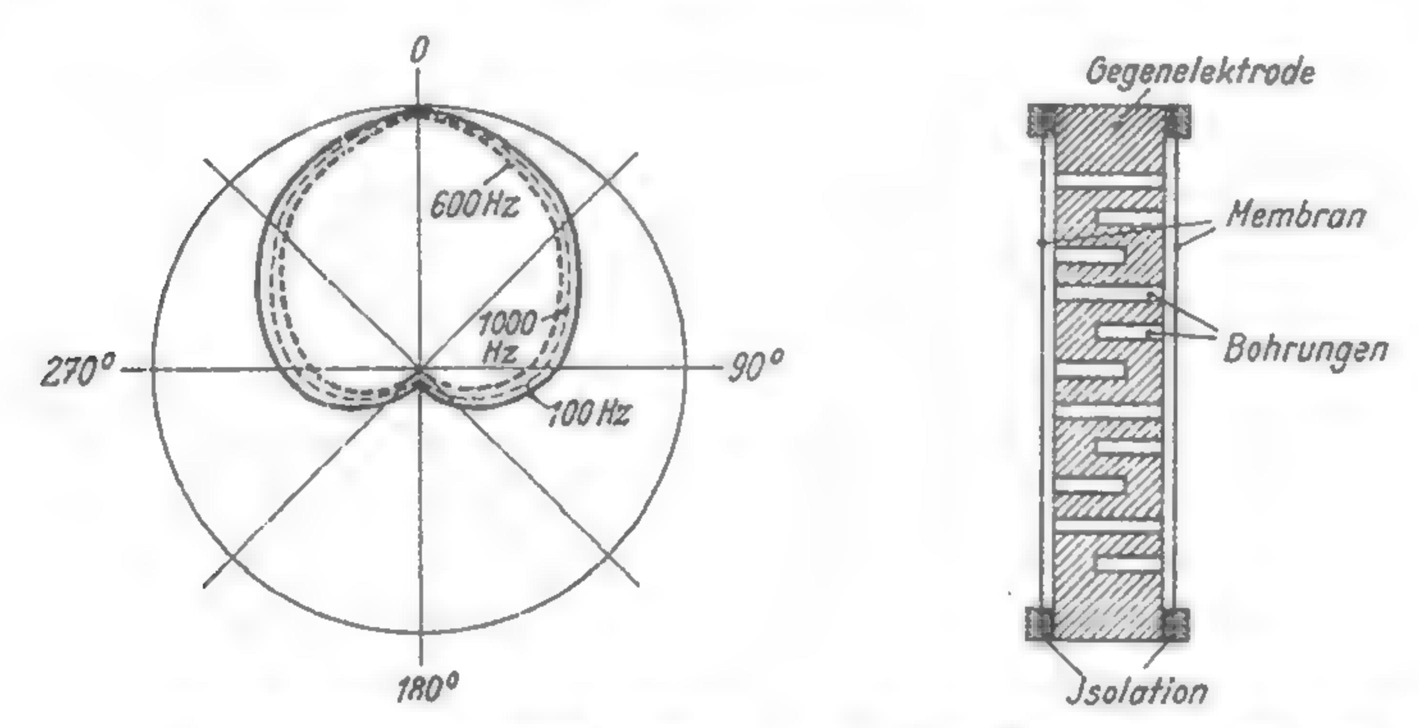


Bild 66. Richtcharakteristik eines Kondensatormikrofons nach Bild 67

Bild 67. Kondensatormikrofon mit nierenförmiger Richtcharakteristik

es durch konstruktive Maßnahmen in der Hand, gewünschte Richtwirkungen zu erzielen, so kann z. B. die Charakteristik des Bändchenmikrofons durch Abschluß der einen Membran-

seite vermittels eines „akustischen Labyrinths" von der Achterform in die Kreisform übergeführt werden (**Bild 68** und 69). — Die Richtcharakteristik eines handelsüblichen Tauchspulenmikrofons veranschaulicht **Bild 70.**

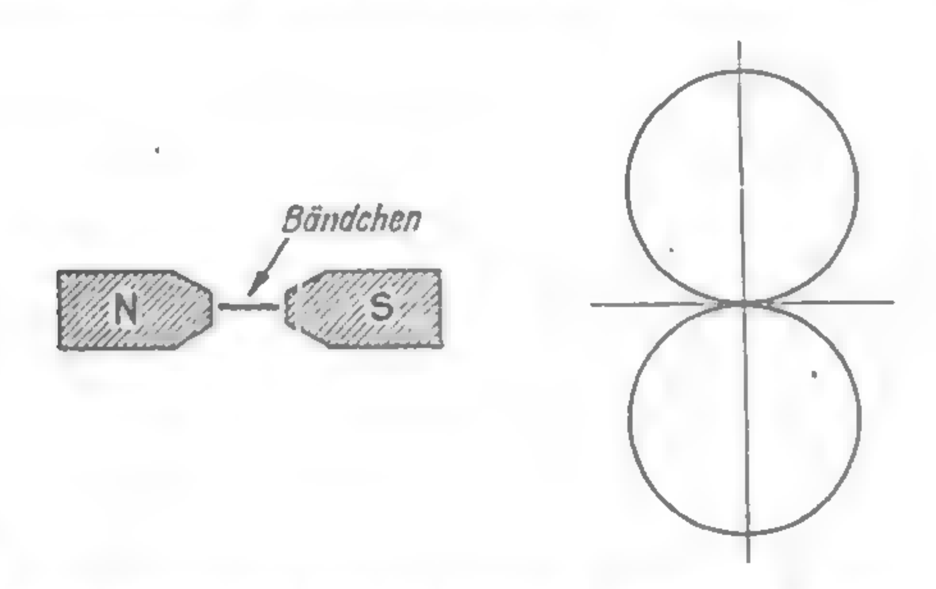


Bild 68. Achtercharakteristik des einfachen Bändchen-Mikrofons

Es gibt Mikrofone (Kondensatormikrofone), deren Richtcharakteristik aus der Entfernung (z. B. aus dem Regieraum) beliebig auf Nierenform oder Achterform eingestellt

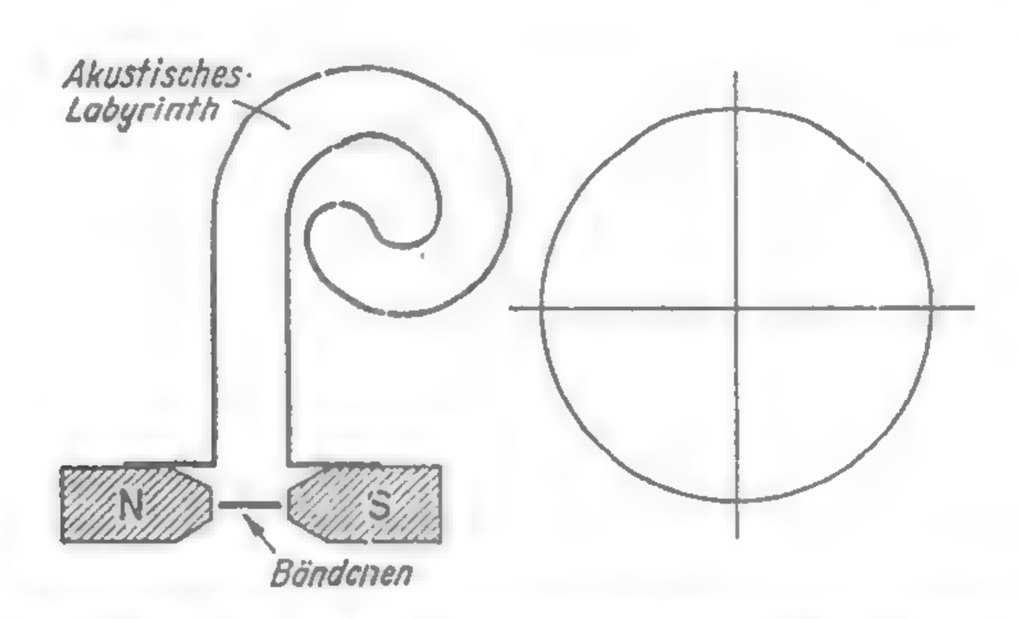


Bild 69. Kreisförmige Charakteristik eines Bändchen-Mikrofons mit akustischem Labyrinth

werden kann. Weiterhin gelang es, den Richteffekt fast frequenzunabhängig zu halten. — Die stetige Veränderung der Richtempfindlichkeit läßt sich durch das Parallelschalten zweier Nieren-Kapseln über einen Kondensator erreichen. Die Änderung der Empfindlichkeit und das Umpolen der

Phase des einen Mikrofons geschieht durch Ändern und Umpolen seiner Ladung mit Hilfe eines Potentiometers.

Will man Schall scharf gebündelt von einer bestimmten Stelle aufnehmen, so verwendet man *Reflektormikrofone,* die

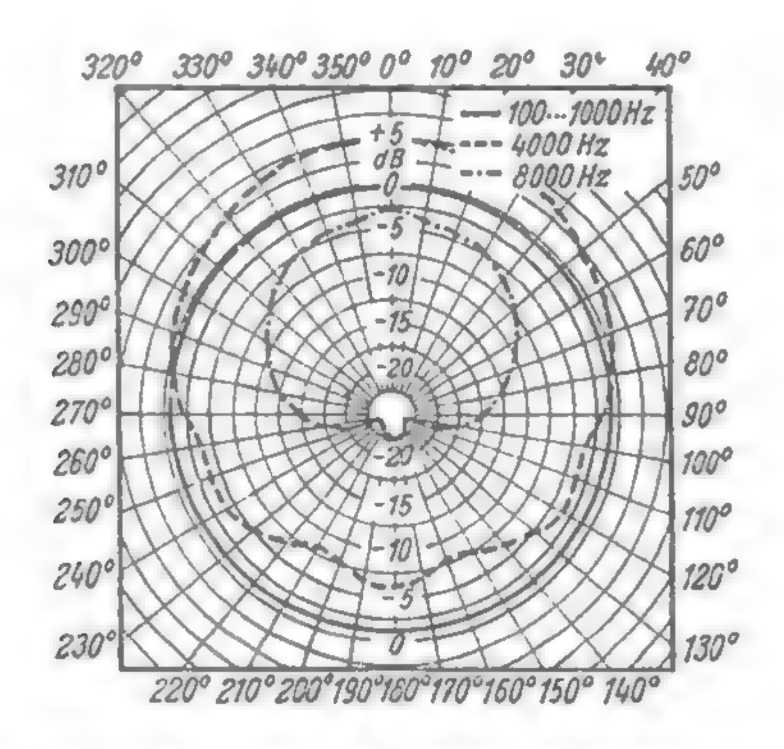


Bild 70. Richtcharakteristik eines Tauchspulen-Mikrofons (Philips)

im Brennpunkt eines Parabolspiegels eingebaut sind. Zu Gruppen zusammengefaßt ermöglichen es die Reflektormikrofone, rechts und links vom Bühnenportal für das Publikum unsichtbar angebracht, eine vollkommene Schallaufnahme von jeder Richtung her.

Rohrmikrofone tragen über ihrem eigentlichen System ein kürzeres oder längeres dünnes Rohr, das in einem trichter- oder kugelförmigen Schallaufnehmer endet. Derartige Mikrofone lassen sich unauffällig anbringen. Die geringen Abmessungen der Schallaufnahmeöffnungen vermeiden Schallverzerrungen. Empfindlichkeit durchschnittlich 0,08 mV/μbar.

Unter einem *Knochenmikrofon* versteht man ein Mikrofon, bei dem die Schallübertragung unter Vermeidung des Luftweges und durch Ausnützung der Schallfortleitung im Knochengerüst des menschlichen Körpers vor sich geht.

Vgl. Fritz Kühne, Mikrofone. Aufbau, Verwendung und Selbstbau. 64 Seiten mit 38 Bildern und 2 Tabellen. Band 11 der „Radio-Praktiker-Bücherei". Franzis-Verlag, München.

Mikrofonübertrager sind Eingangsübertrager, sie werden nach **Bild 71** zugeschaltet. In der Ausführung a muß die angeschlossene Mikrofonleitung gut abgeschirmt sein, da sie be-

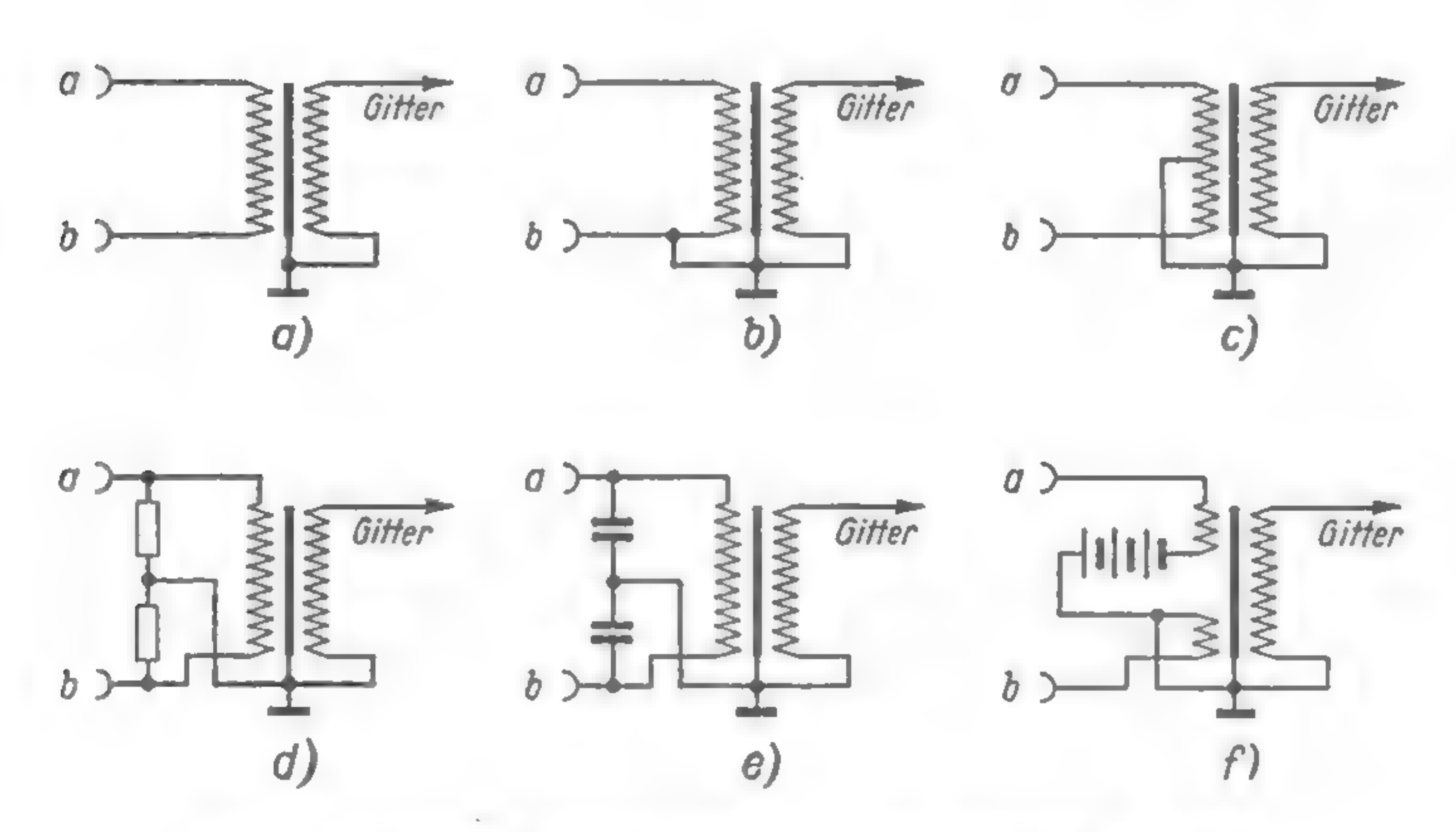


Bild 71. Verschiedene Anschlußmöglichkeiten für Mikrofon-Übertrager

sonders störanfällig ist. Schaltet man nach b und verbindet eine Eingangsklemme mit Erde, dann ist die Störanfälligkeit geringer. Bei Leitungslängen unter 5 m kann man mit nichtabgeschirmten Kabeln auskommen. Geeignete Anschlußarten für niederohmige Mikrofone sind die Schaltungen c bis f, bei denen beide Leitungsadern gegenüber Erde die gleiche Tonspannung aufweisen. Eine fehlende Mittelanzapfung auf der Eingangsseite des Übertragers läßt sich durch das Zuschalten von Widerständen von je 1000 Ohm (nach d) oder Kondensatoren von je 10 nF (nach e) ersetzen (künstliche Mitte). — Da eine Mikrofonbatterie auf Grund ihrer Kapazität gegen Erde die Symmetrie stören kann, wenn sie in *einem* Zweig der Leitung liegt, ist die Verwendung eines Übertragers mit aufgetrennter Primärwicklung (nach f) angebracht.

Millibar. Maßeinheit für den Druck (abgekürzt: mbar). 1 Millibar ist der tausendste Teil eines bar.

1 bar = 0,987 Atmosphären (physikalische)
= 1,02 at (technische Atm.) kg/cm²
= 10^6 Mikrobar (dyn/cm²).

Mischung von Tonfrequenzen. Dort wo Tonfrequenzen verschiedenen Ursprungs zur Erzielung besonderer Effekte überblendet werden sollen (Mikrofone, Tonabnehmer), wendet man Überblender an. Ein einfacher Überblender, bei dem von der einen Tonquelle auf die andere übergegangen werden kann, bei der aber noch keine Mischung stattfindet, zeigt **Bild 72,** während **Bild 73** das Prinzip eines Mischüberblenders

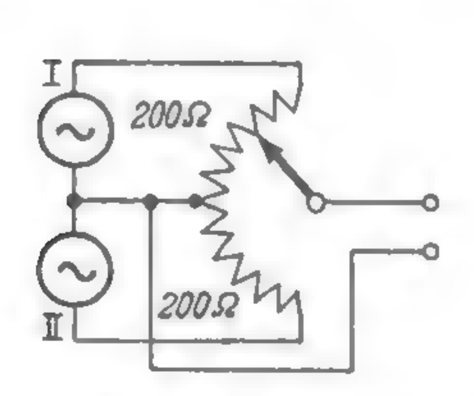


Bild 72. Schema eines Überblenders

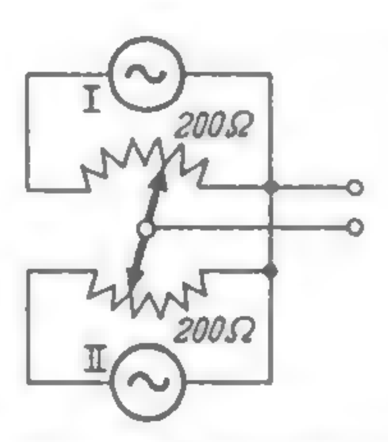


Bild 73. Schema eines Mischüberblenders

angibt (gleicher innerer Widerstand der Tonfrequenzquellen vorausgesetzt). Bei verschieden großen Widerständen muß jeder Stromquelle ein Transformator zugeschaltet werden, der dem jeweiligen Generatorwiderstand angepaßt ist.

Musik (physikalische Grundlagen). Die „Töne" in der Musik sind im Allgemeinen Klänge, Schwingungsgemische, deren Teiltöne ganze Vielfache eines tiefsten Tones, des Grundtones sind.

Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne zueinander wird als Intervall (Tonstufe) nach folgender Tabelle bezeichnet:

(Siehe Tabelle auf der nächsten Seite)

Intervalle (Tonstufen)

Oktave	1 : 2	kleine Terz	5 : 6
Quinte	2 : 3	große Sexte	3 : 5
Quarte	3 : 4	kleine Sexte	5 : 8
große Terz	4 : 5		

Die reine Dur-Tonleiter (diatonische Stimmung) hat Einzelfrequenzen von einem zum nächsten Ton gerechnet, dem folgende Schritte entsprechen:

$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

Geht man z. B. von dem Ton c mit 1 aus, so ergibt sich folgende Reihe:

c	d	e	f	g	a	h	c′
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

(Für e errechnet aus: $\frac{9}{8} \cdot \frac{10}{9} = \frac{5}{4}$

für c′ = $\frac{16}{15} \cdot \frac{15}{8} = 2$ usw).

In der Musik hat diese Schrittfolge gewisse Nachteile, deshalb hat man sich auf die „temperierte“ Stimmung festgelegt, bei der die Oktave in 12 logarithmisch gleich große Intervalle (Halbtöne) geteilt ist. Jeder Halbtonschritt ist durch das Verhältnis 1 : 1,0595 festgelegt.

Für die absolute Tonhöhe ist der Kammerton „a“ mit 440 Hertz maßgebend. Danach ergeben sich z. B. für c die folgenden Frequenzwerte für beide Stimmungen:

Bezeichnung	Ton	Frequenzen der Stimmungen in Hz	
		diatonisch	temperiert
Subcontra	C_3	16,5	16,35
Contra	C_2	33	32,7
Groß	C_1	66	65,4
Klein	c	132	130,8
Eingestrichenes	c^1	264	261,6
Zweigestrichenes	c^2	528	523,2
Dreigestrichenes	c^3	1056	1046,5
Viergestrichenes	c^4	2112	2093
Fünfgestrichenes	c^5	4224	4186
Sechsgestrichenes	c^6	8448	8372

Der musikalischen Lautstärke entsprechen folgende Werte und Bezeichnungen:

Phon	Bezeichnung	Phon	Bezeichnung	Phon	Bezeichnung
10	pppp	40	p	70	ff
20	ppp	50	mf	80	fff
30	pp	60	f	90	ffff

Musikinstrumente (Frequenzumfang und Schalleistung). Der tiefste von Musikinstrumenten erzeugte Grundton ist das Orgel-Subcontra C (16,35 Hz); der tiefste Klavierton ist das Subcontra A, der höchste das fünfgestrichene c (4186 Hz). Der Klangumfang ist, bedingt durch die die Klangfarbe gebenden Obertöne, natürlich weit höher. **Bild 74** läßt den Grundton-Umfang einiger Musikinstrumente erkennen.

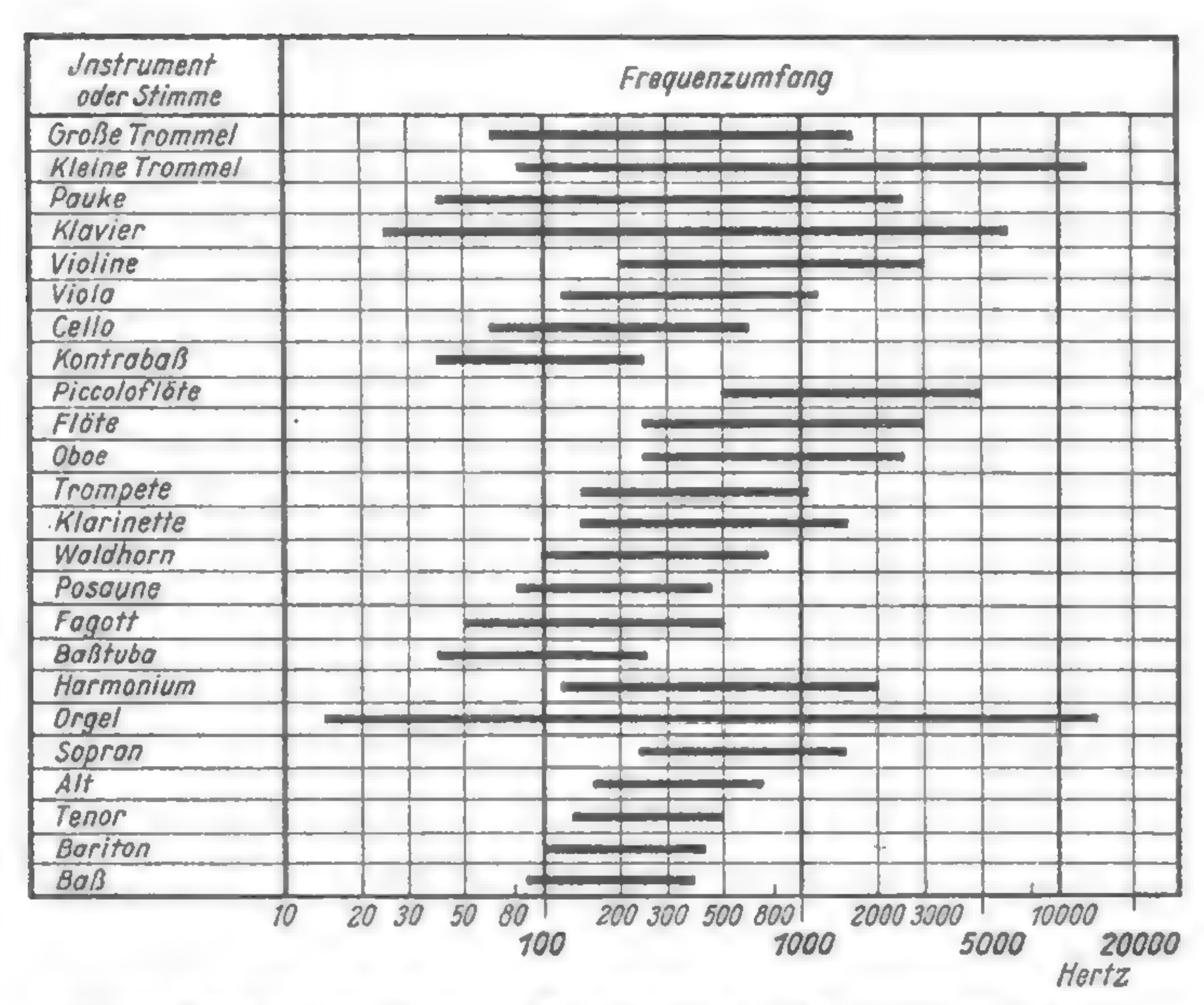


Bild 74. Grundton-Umfang einiger Musikinstrumente und der menschlichen Stimme

Die *Schalleistung* verschiedener Musikinstrumente in Watt geht aus der Tabelle Seite 67 hervor. Der jeweilige Mittel- und Spitzenwert des Schalldruckes ist in Mikrobar (μbar) angegeben.

N

Nachhall siehe unter Raumakustik.

Nadelgeräuschfilter siehe unter Pässe.

Nadelton-Verfahren siehe unter Schallplatte.

Neobechstein-Flügel siehe unter Elektrische Musik.

Schalleistung von Musikinstrumenten

Instrument	Entfernung in m	Schalldruck in µbar Mittelwert	Spitzenwert	Schalleistung in Watt
Piccolo-Flöte	1	2,2	20	0,04
Klarinette	1	3,3	26	0,05
Baß-Tuba	1	5,4	43,2	0,2
Klavier	3	2,6	23	0,27
Baß-Saxophon	1	4	58	0,29
Trompete	1	8,6	54	0,3
Flöte	1	1,6	14	1,5
Posaune	1	6,5	22,8	6,4
Orgel	5	20	90	12,5
Große Pauke	1	100	1260	25
Kleines Orchester 15 Mann	2 m vom nächsten Instrument	7,9	90	5
Großes Orchester 75 Mann	5 m vom nächsten Instrument	4,6	130	67

Neper. Dämpfungs- und Verstärkungsmaß, siehe auch unter Dezibel. **Bild 75** gibt eine vergleichende Skaleneinteilung mit Amplitudenverhältnis, Neper, Dezibel und Intensitätsverhältnis.

Nichtlineare Verzerrungen (siehe auch unter Klirrfaktor). In der Elektroakustik: das Auftreten von im Original nicht vorhandenen Tönen.

Nutzschallstärke siehe unter Psychologische Akustik.

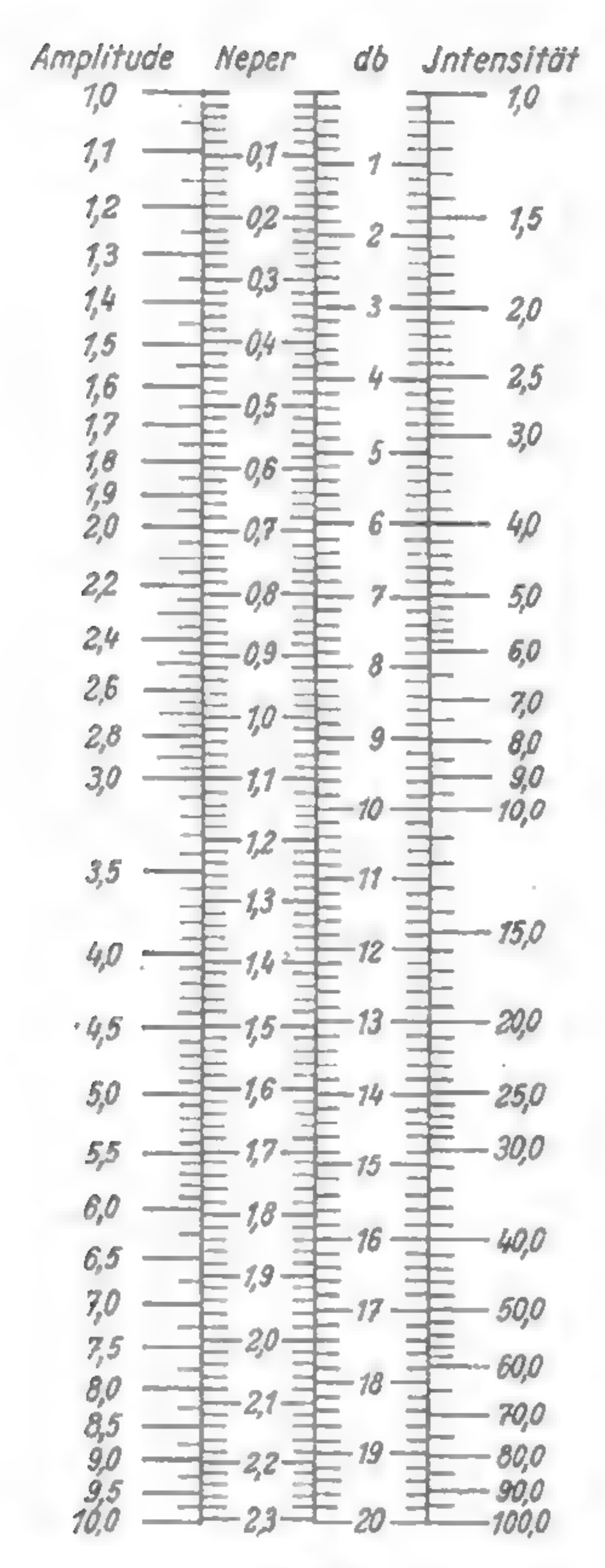


Bild 75.
Beziehung zwischen Amplitudenverhältnis, Neper, Dezibel und Intensitätsverhältnis

O

Obertöne (Harmonische) haben Schwingungszahlen, die 2, 3, 4, 5, ... mal so hoch sind, wie die Frequenz des Grundtones (siehe auch unter „Klangfarbe").

Ohrempfindlichkeit siehe unter Hörbereich und Physiologische Akustik.

Oktave siehe unter Musik.

P

Pässe (Siebschaltungen, Siebketten, Drosselketten, Filter) werden dort benutzt, wo bestimmte Frequenzen ausgesiebt bzw. gedämpft werden sollen. Mit ihnen läßt sich u. a. die Schallwiedergabe dem subjektiven Gehörempfinden anpassen. Grundsätzlich unterscheidet man Hoch-, Tief- und Bandpässe. Der Hochpaß sperrt alle Frequenzen unterhalb einer bestimmten Schwingungszahl, läßt die höheren jedoch ungehindert hindurch. Der Tiefpaß besteht umgekehrt aus Gliedern, die von einer bestimmten Grenzfrequenz an Schwingungen mit höheren Werten einen hohen Widerstand entgegensetzen. Der Bandpaß schließlich läßt nur ein beschnittenes Frequenzband passieren; höhere und tiefere Frequenzen werden abgeschnitten. In anderer Anordnung schneidet das Bandfilter ein zu unterdrückendes Frequenzband heraus.

Die Schaltelemente der Pässe (oder Siebketten) sind Induktivitäten (Drosseln) und Kapazitäten (Kondensatoren), deren Werte sich nach dem Anpassungswiderstand richten, an den die Anordnung angeschlossen werden soll. Von ihm hängt auch die jeweilige Flankensteilheit ab. An Stelle von Drosseln können u. U. Widerstände benutzt werden.

Die Grundform eines *Tiefpasses* besteht aus einem induktiven Längsglied und einem kapazitiven Querglied (Bild 76).

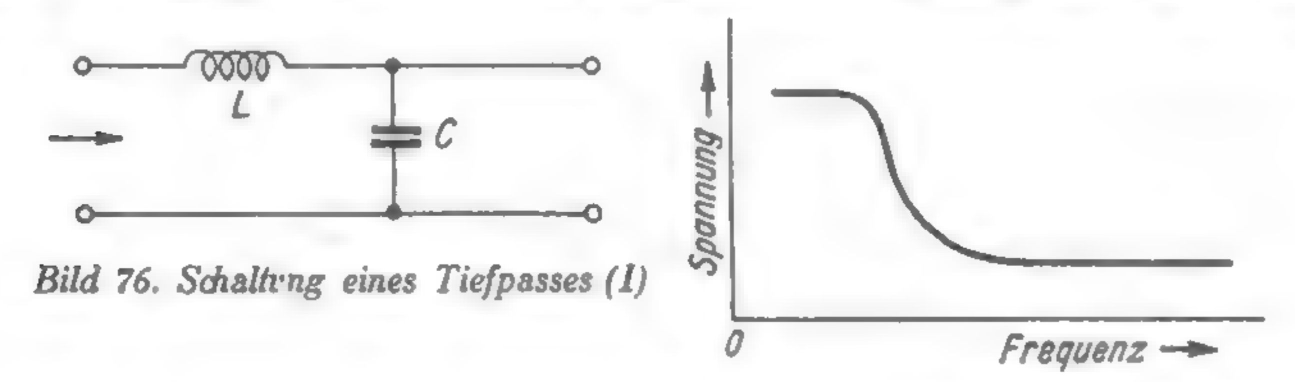


Bild 76. Schaltung eines Tiefpasses (I)

Bild 77. Frequenzkurve zum Tiefpaß I

Die Spannung der zu unterdrückenden Frequenz sinkt etwa nach der Kurve (Bild 77) ab.

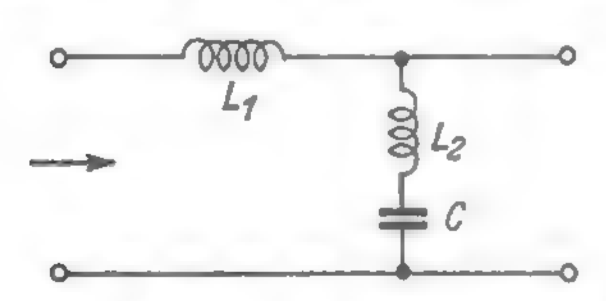


Bild 78. Schaltung eines Tiefpasses mit 2 Drosseln und einem Kondensator (II)

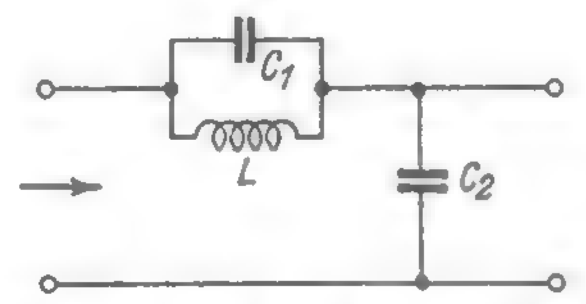


Bild 79. Schaltung eines Tiefpasses mit 2 Kondensatoren und einer Drossel (III)

Kombinationen nach **Bild 78** und **79**, zu welch letzterer die Kurve **Bild 80** gehört, ändern die Kurvenform des Tiefpasses.

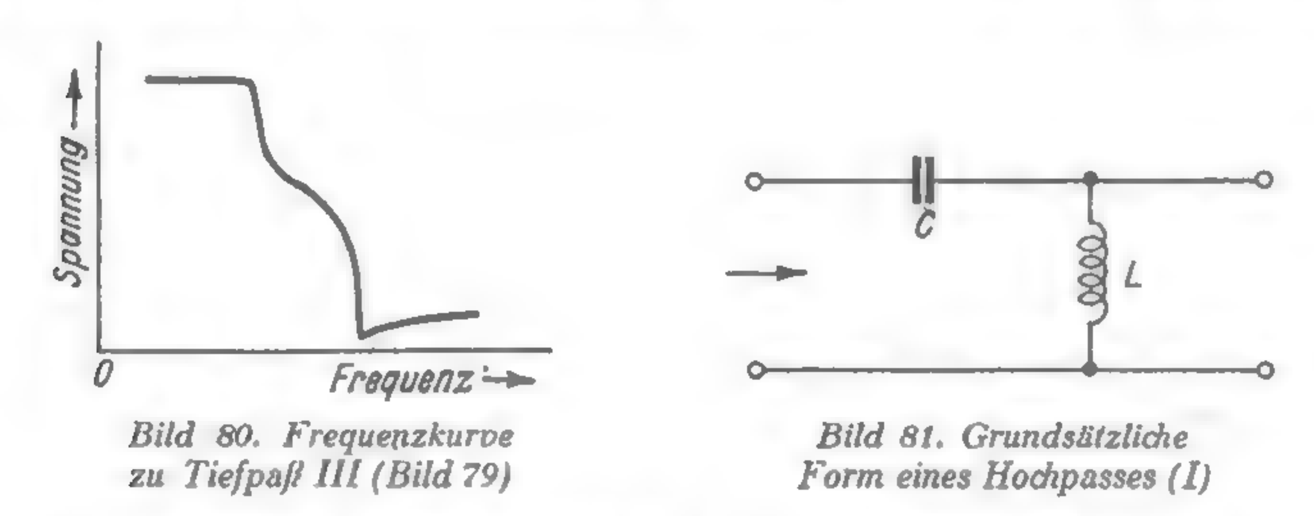


Bild 80. Frequenzkurve zu Tiefpaß III (Bild 79)

Bild 81. Grundsätzliche Form eines Hochpasses (I)

Die Grundschaltung des *Hochpasses* hat eine Kapazität als Längsglied und eine Induktivität als Querglied (**Bild 81**). Zugehörige Kurve: **Bild 82.**

Es sind die beiden weiteren Formen **Bild 83** und **84** möglich (Kurve zu Schaltung nach Bild 84 siehe **Bild 85**).

Werden, um ein Beispiel anzugeben, zwei Lautsprecher benutzt, ein Hochton- und ein Tieftonlautsprecher (zwei Kanäle), dann können Hochpaß und Tiefpaß nach **Bild 86** zugeschaltet

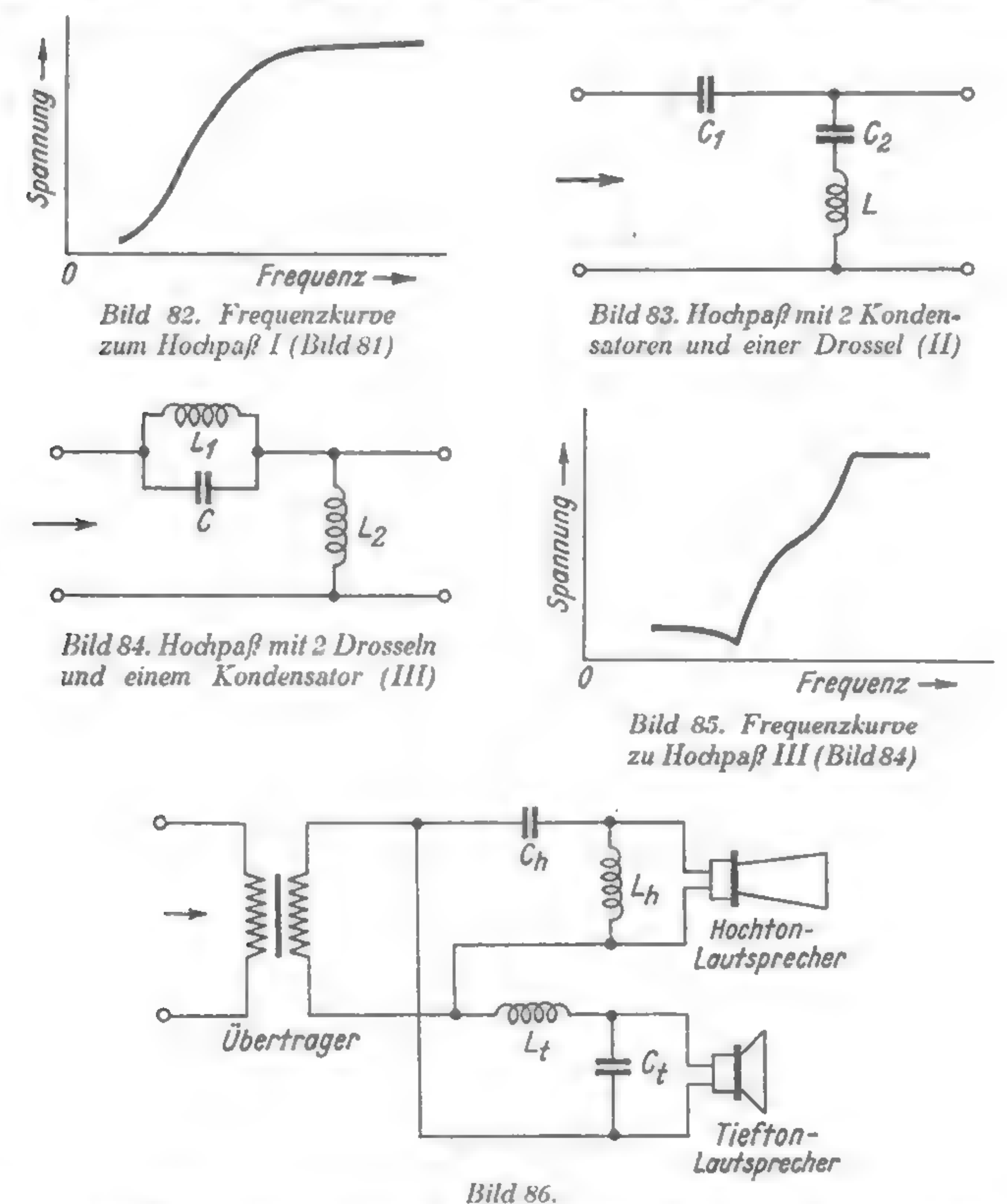


Bild 82. Frequenzkurve zum Hochpaß I (Bild 81)

Bild 83. Hochpaß mit 2 Kondensatoren und einer Drossel (II)

Bild 84. Hochpaß mit 2 Drosseln und einem Kondensator (III)

Bild 85. Frequenzkurve zu Hochpaß III (Bild 84)

Bild 86.
Hochpaß und Tiefpaß in einer Anlage mit einem Hochton- und einem Tieftonlautsprecher.

werden. Die Errechnung der Induktivitäts- bzw. Kapazitätswerte wird nach den folgenden Formeln vorgenommen:

$$L = \frac{R \cdot \sqrt{2}}{2\pi \cdot f}\,; \qquad C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R \cdot \sqrt{2}}$$

(L in Henry, C in Farad, R in Ohm, f in Hertz).

Der *Bandpaß* setzt sich so, wie es **Bild 87** andeutet, zusammen, wenn er ein bestimmtes Frequenzband durchlassen soll (Kurve **Bild 88**); nach **Bild 89**, wenn er es unterdrücken soll (Kurve **Bild 90**).

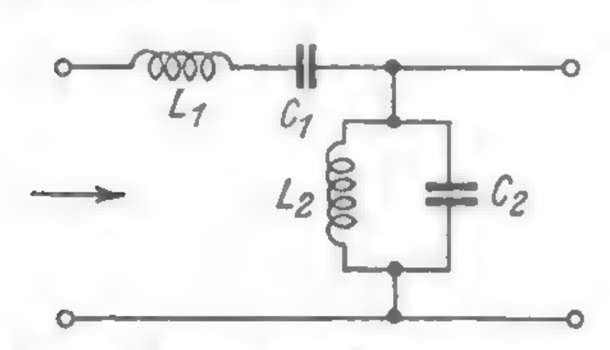


Bild 87. Schema eines Bandpasses, der ein bestimmtes Frequenzband durchlassen soll

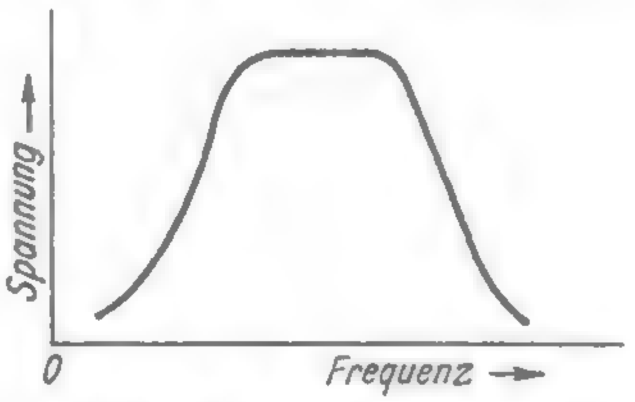


Bild 88. Freqenzkurve zu dem Bandpaß aus Bild 87

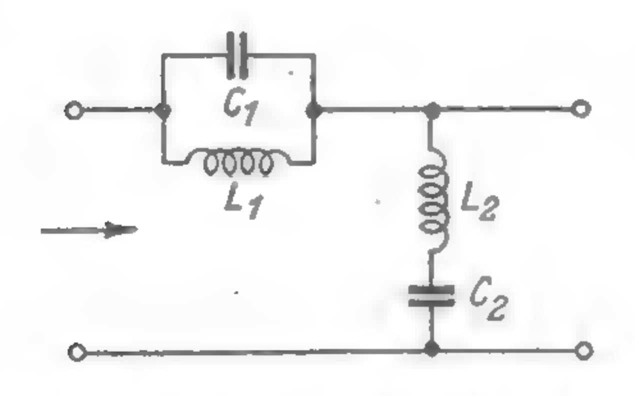


Bild 89. Schema eines Bandpasses zur Unterdrückung eines bestimmten Frequenzbandes

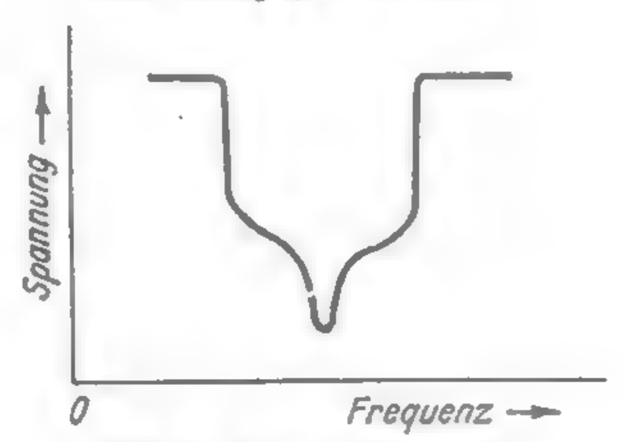


Bild 90. Frequenzkurve zu dem Bandpaß aus Bild 89

Zu den Pässen gehört auch die *Klangblende* (Tonblende), siehe „Klangregler".

Nadelgeräuschfilter für die Schallplattenwiedergabe sind in gewissem Sinne Tiefpässe, sie dämpfen den Frequenzbereich der Nadelgeräusche. Ein variables Nadelgeräuschfilter, in die Katodenleitung einer Verstärkerstufe geschaltet, ist in **Bild 91** gezeigt (L = 5 H, R = 0,1 Megohm, C_{max} = 1000 pF).

Entzerrer haben die Aufgabe, die Wiedergabe durch Anhebung bzw. Dämpfung gewisser Frequenzgebiete einer als natürlich empfundenen Wiedergabe anzupassen. Sie bestehen wie alle Pässe aus Drosseln und Kondensatoren in bestimmter Anordnung. Ein Beispiel, bei dem auf die Verwendung von Drosseln verzichtet werden kann und Widerstände verwendet werden, zeigt **Bild 92** (Quellwiderstand 100 bis 200 Ohm).

Tonabnehmer-Entzerrer dienen zur Anhebung der Tiefen bei der Wiedergabe, da die Bässe nämlich die Frequenzen unter 200 Hz, neuerdings unter 500 Hz, bei der Aufnahme absichtlich geschwächt werden, um ein Ineinanderschneiden

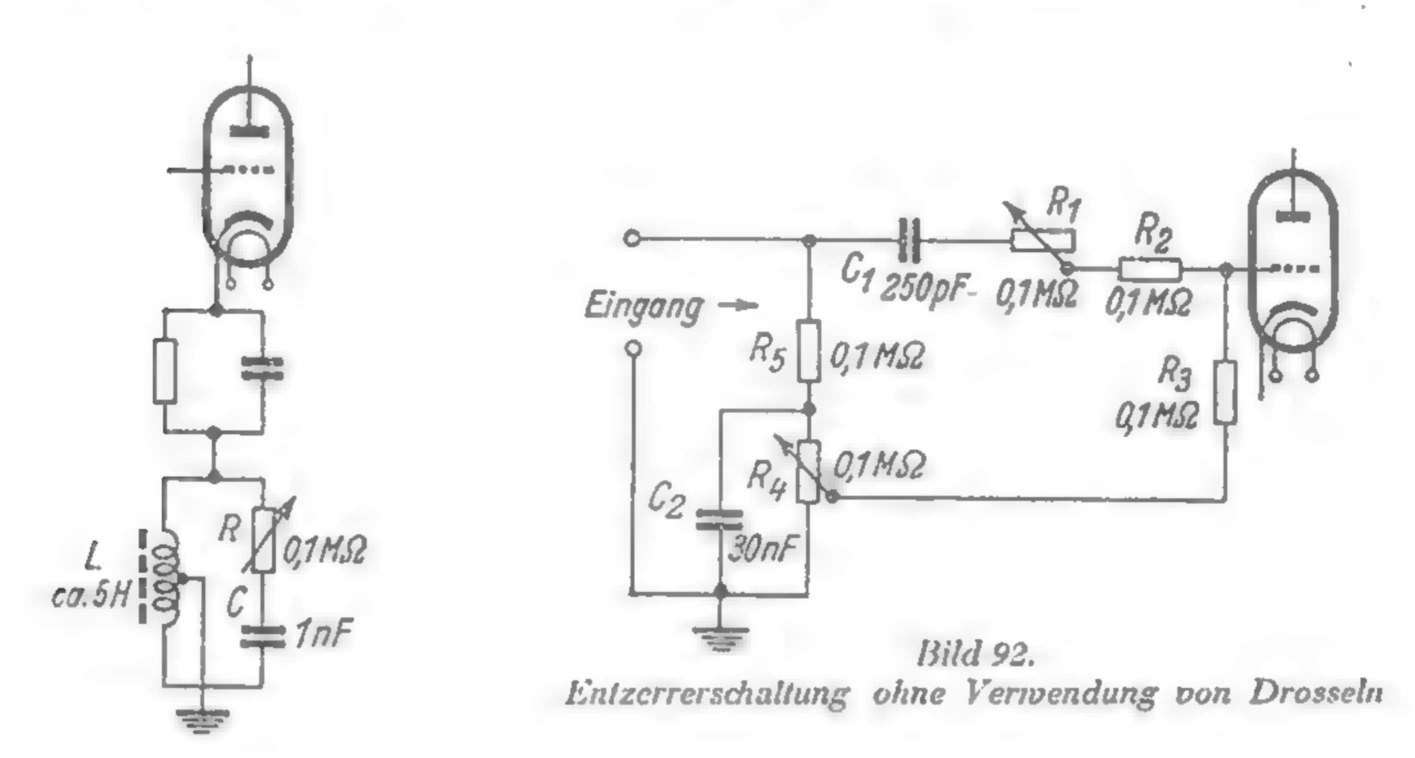


Bild 91.
Nadelgeräuschfilter in der Katodenleitung einer Verstärkerröhre

Bild 92.
Entzerrerschaltung ohne Verwendung von Drosseln

der Rillen zu verhindern. Die Induktivitäten und Kapazitäten haben je nach der Art des Tonabnehmers (hochohmig oder niederohmig) verschiedene Werte. **Bild 93** und **94** geben Beispiele an.

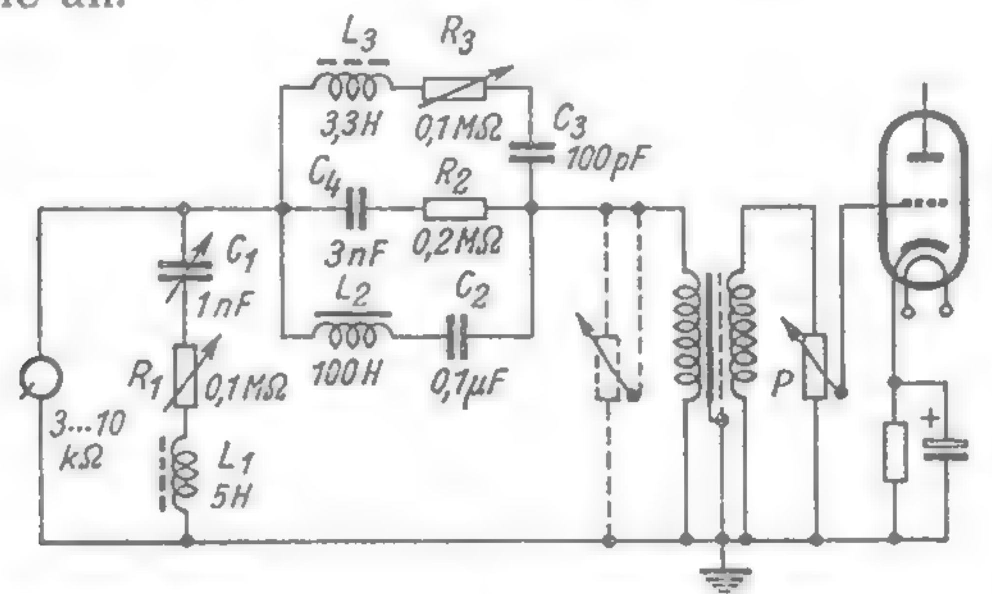


Bild 93. Filter für hochohmige magnetische Tonabnehmer (3000 Ω)

Schreibentzerrer haben die umgekehrte Aufgabe bei der Schallplattenaufnahme zu erfüllen, d. h. sie haben die er-

wähnte Schwächung der tiefen Frequenzen zu bewirken (siehe auch Seite 91).

Gleichrichterfilter sieben die überlagerte Wechselstromkomponente aus und glätten gleichzeitig die Pulsationen des gleichgerichteten Wechselstromes (Drosselwerte zwischen 5 und 20 Henry, Kapazitätswerte zwischen 4 und 50 µF).

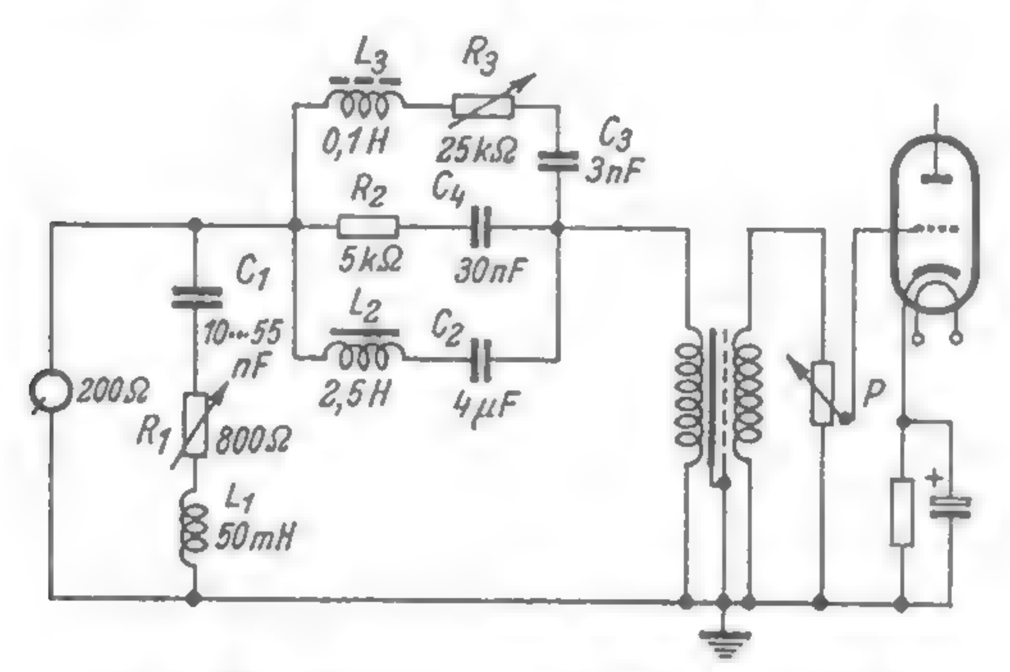


Bild 94. Filter für niederohmige Tonabnehmer (200 Ω)

Phon. Lautstärkeeinheit, siehe unter Lautstärke.

Phonetik. Lautkunde.

Physiologische Akustik. Das menschliche Ohr nimmt Schallschwingungen in dem Gebiet zwischen etwa 16 und etwa 20 000 Hertz auf. Konkrete Angaben lassen sich wegen der Subjektivität des Eindrucks nicht machen. Das Ohr des einen reagiert vielleicht erst bei 20 Hertz, während ein anderes schon 16 Schwingungen in der Sekunde als Schall registriert. Bei den hohen Frequenzen ist es ähnlich, hier versagen die Ohren manches Menschen schon bei Schwingungen über 12 000 Hertz. — Mit zunehmendem Alter nimmt die Aufnahmefähigkeit für hohe Frequenzen ab.

Die untere Grenze der Schallempfindung wird „*Reizschwelle*" genannt. Die Tonempfindung geht bei steigender Lautstärke schließlich in Schmerz über: „Schmerzschwelle". Dazwischen liegt das Hörgebiet; in der graphischen Darstellung **Bild 95** erscheint es als Fläche (Hörfläche). Der Musikbereich ist als weitere Fläche eingetragen. — **Bild 95**

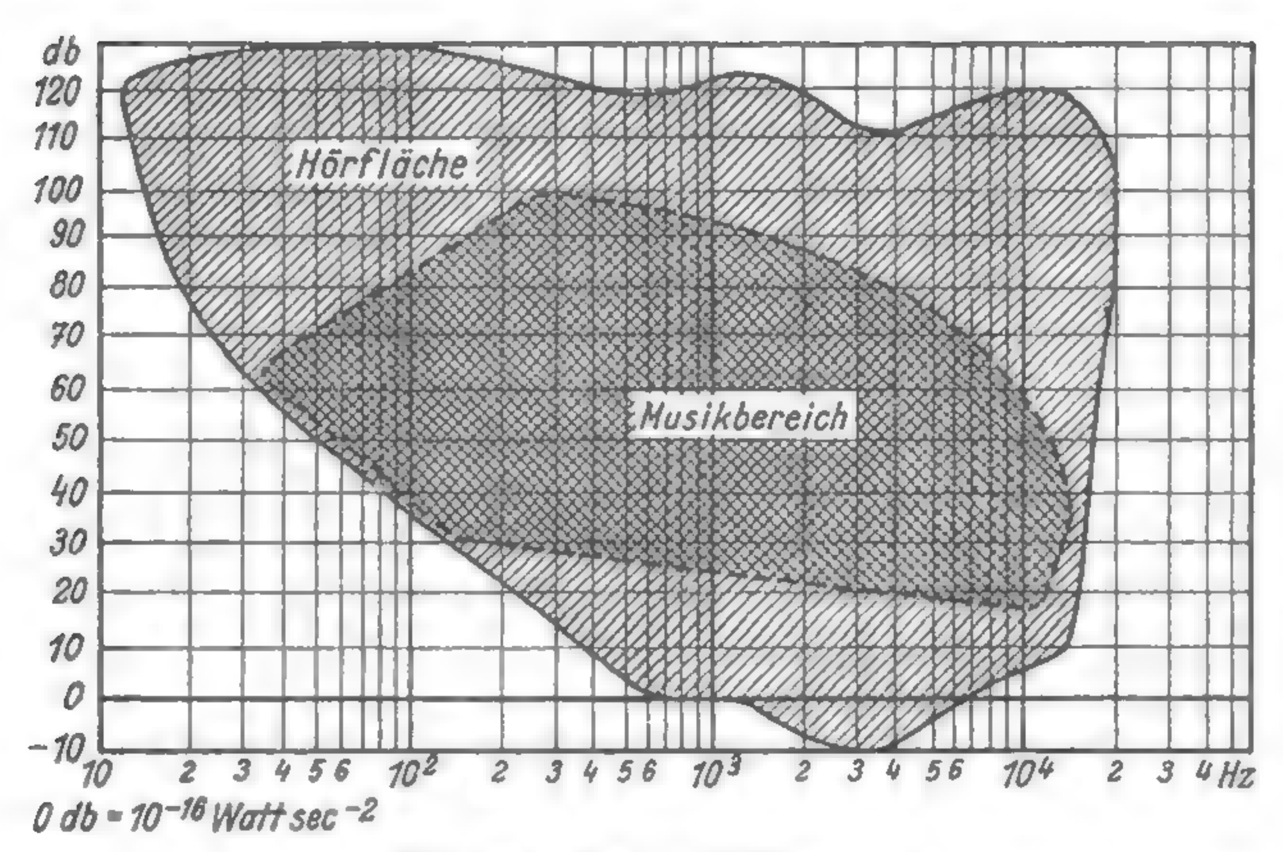


Bild 95. Umfang des Hörbereiches

läßt ferner erkennen, daß die Hörempfindung sowohl von der Schallintensität als auch von der Frequenz abhängig ist. Das normale Ohr ist im Gebiet um 3000 Hertz am empfindlichsten, d. h., daß es bei Frequenzen dieser Größenordnung geringste Schalldrücke aufzunehmen vermag ($2 \cdot 10^{-4}$ Milli-

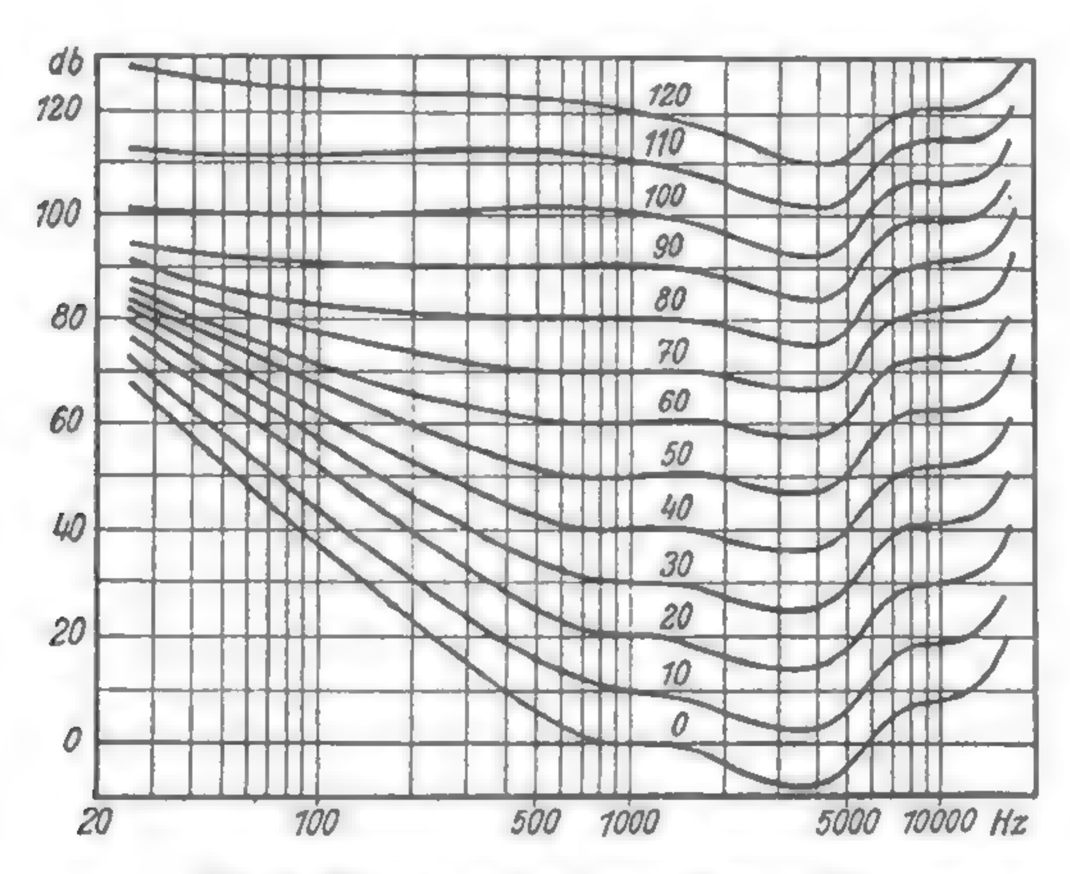


Bild 96. Kurven gleicher Lautstärkeempfindung

bar). Bei tiefen und ganz hohen Tönen ist der Schalldruck, der eine Gehörempfindung hervorruft. weit höher.

Die Lautstärkeempfindung ist bei einem bestimmten Schalldruck bei verschiedenen Frequenzen ganz verschieden, wie aus **Bild 96** hervorgeht. Die unterste Kurve ist gleichzeitig Reizschwellenkurve.

Über das Lautstärkemaß ist unter „Phon" das Wesentliche gesagt. Hier sei hinzugefügt, daß die vom menschlichen Ohr vermittelte Schallempfindung nicht einfach in demselben Maße, sondern viel langsamer ansteigt als die wirkliche physikalisch gemessene Energie des Schalles. Das bedeutet, daß eine an sich schon starke Schalläußerung einer viel größeren zusätzlichen Schallmenge bedarf, um als lauter empfunden zu werden, als es bei einer von Natur schwächeren Schalläußerung der Fall ist. Man kann diese Tatsache mit der normalen Druckempfindung vergleichen. Die Hinzufügung eines 30-Gramm-Gewichtes zu einem auf die Handfläche gelegten 100-Gramm-Gewicht ist durchaus fühlbar. Lagen jedoch ursprünglich 1000 Gramm auf der Hand, so merkt man die Vermehrung um 30 Gramm überhaupt nicht. Eine Gewichtssteigerung wird erst bei einem Zusatzgewicht von 300 Gramm merkbar. In der Akustik ist es so, daß bei jeder Verzehnfachung der ursprünglichen Schallstärke die Schallempfindung nur um ein und denselben bestimmten Betrag zunimmt (nicht etwa um den zehnfachen Betrag). Das menschliche Ohr kann Lautstärkeänderungen um ein Phon immer grade noch wahrnehmen.

Der vom Ohr aufnehmbare Intensitätsintervall ist außerordentlich groß. Er beträgt bei einer Frequenz von 1000 Hertz zwischen Reizschwelle und oberer Hörgrenze 1 zu 100 000 Milliarden.

Die Empfindungsstärke des Ohres für Schall nennt man *„Lautheit"*. Den Zusammenhang zwischen der Lautstärke in Phon und der Ohrempfindung, d. h. also der Lautheit, zeigt die Kurve **Bild 97**.

Die Schallempfindung ist zeitabhängig. Die volle Lautheit tritt erst nach 0,2 sec ein, um dann sehr langsam abzuklingen (Ermüdung). Nach jeder Erregung des Ohres vergeht eine

verhältnismäßig lange Zeit, bis wieder der Ruhezustand (keine Lautempfindung) eintritt; etwa 0,5 sec.

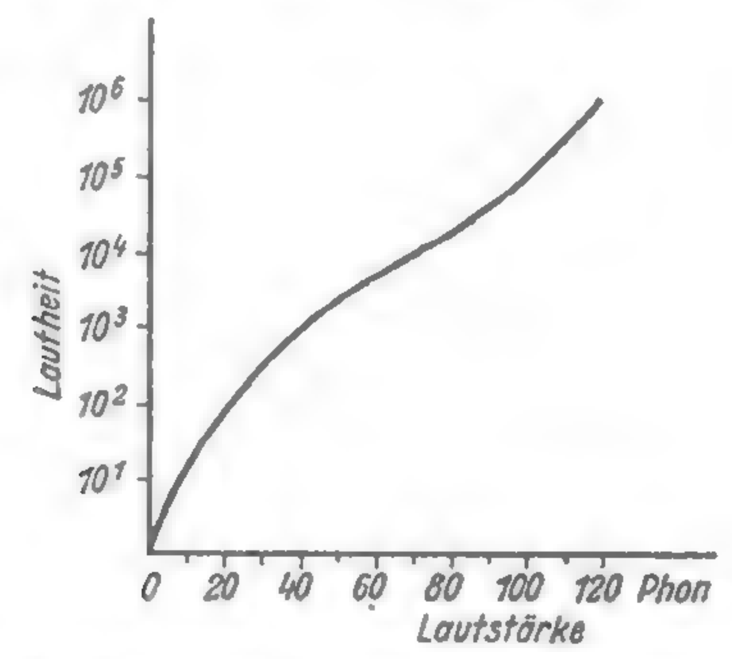


Bild 97. Abhängigkeit der Lautheit von der Lautstärke

Die Unterscheidungsfähigkeit des Gehörs für Frequenzschwankungen ist von dem jeweiligen Frequenzbereich abhängig, wie die Kurve **Bild 98** angibt.

Wenn das Ohr einen Toneindruck hat, so wird seine Empfindlichkeit für einen weiteren Ton einer anderen Fre-

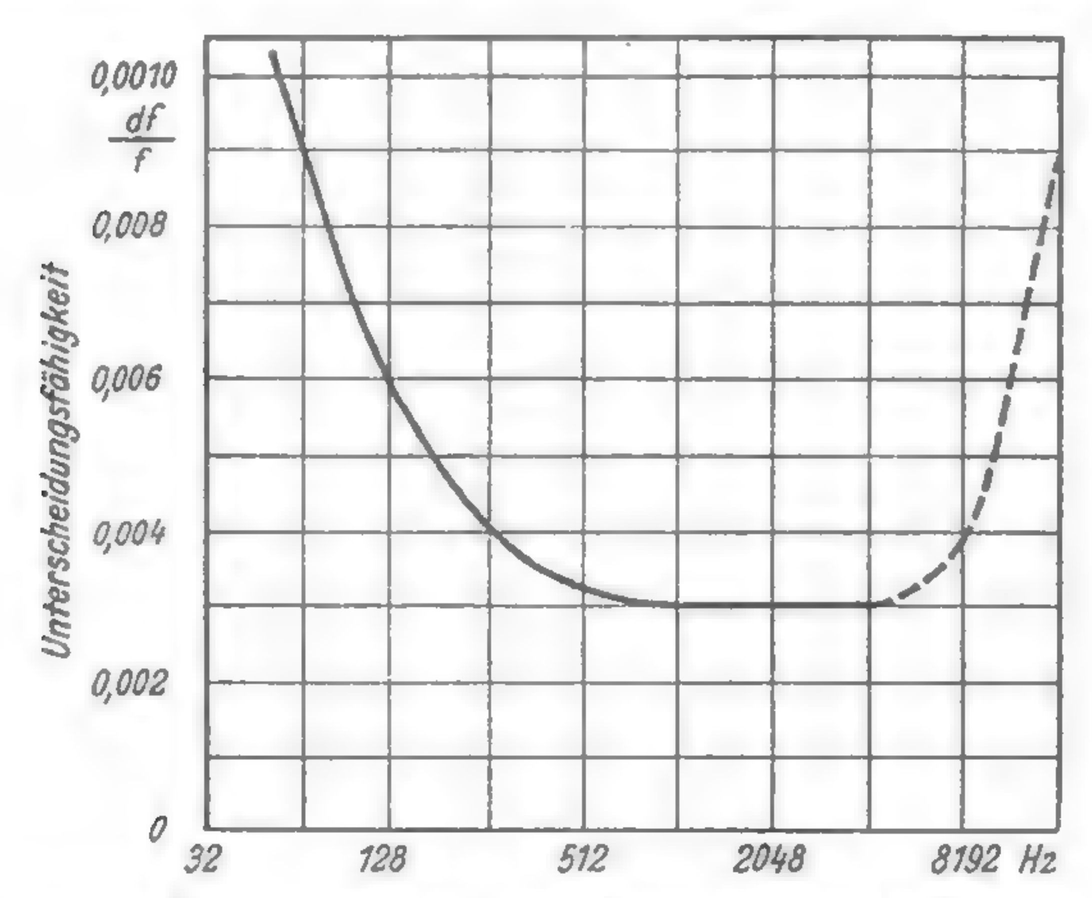


Bild 98. Unterscheidungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Frequen (Unterscheidungsfähigkeit = wahrnehmbare Frequenzänderung)

quenz und kleinerer Lautstärke herabgesetzt. Ist der Lautstärkeunterschied groß, so kann der schwächere Ton von dem lauteren „verdeckt“ werden. Daher werden Störgeräusche

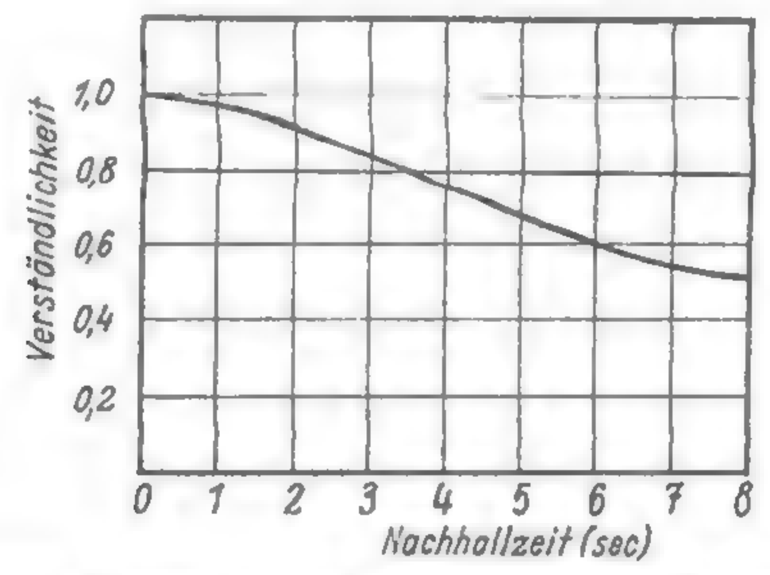


Bild 99. Verständlichkeit in Abhängigkeit vom Nachhall

bei genügend großer Nutzlautstärke nicht mehr wahrgenommen (Verdeckung). Andererseits verursacht Nachhall durch Verdeckung eine Herabsetzung der Verständlichkeit. Diese in Abhängigkeit von der Nachhallzeit veranschaulicht die Kurve in **Bild 99**.

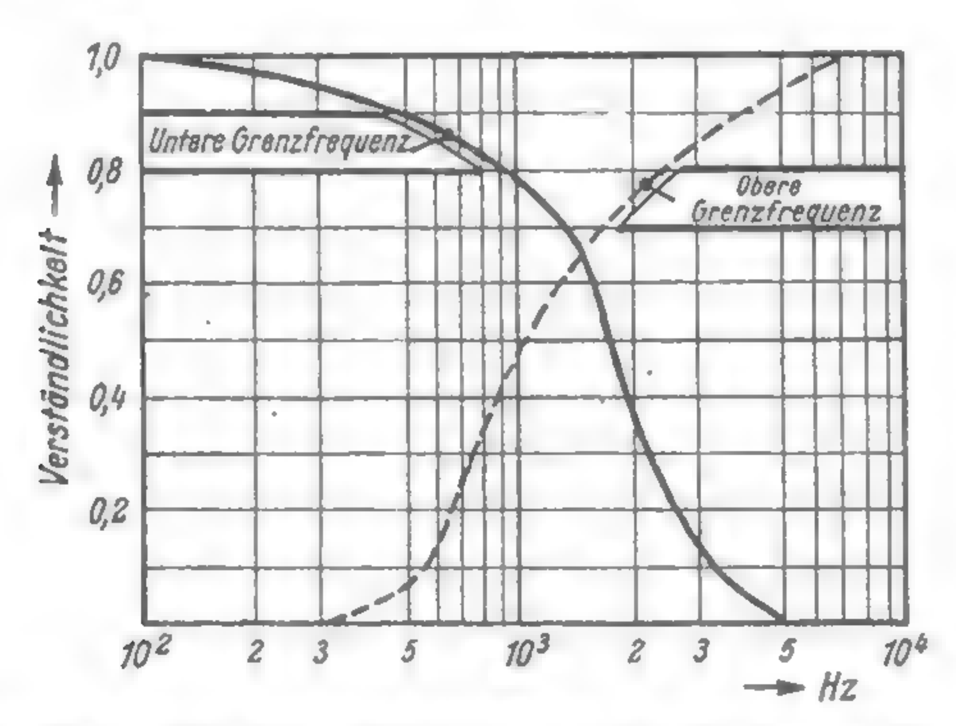


Bild 100. Verständlichkeit in Abhängigkeit von dem übertragenen Frequenzband

Die „Verständlichkeit“ wird zahlenmäßig angegeben (nach dem prozentualen Anteil der richtig verstandenen Worte

oder Silben zur Gesamtzahl der gesprochenen Worte oder Silben). Um Kombinationsmöglichkeiten des Hörers auszuschalten, läßt man den Sprecher sinnlose Silben (genormt als Logatome) sagen. Diese „Silbenverständlichkeit" ist abhängig von dem übertragenen Frequenzband **(Bild 100).**

Piezo-elektrische Mikrofone siehe unter Mikrofone.

Plastisches Hören siehe Stereofonie.

Plattenspieler siehe unter Schallplatte.

R

Raumakustik (und Bauakustik). Der wichtigste Begriff der Raumakustik ist die „Hörsamkeit"; ihr höherer oder geringerer Wert kennzeichnet die Eignung eines Raumes für Schalldarbietungen. Bestimmend für sie sind in der Hauptsache Raumgröße, Raumform und Nachhall (bzw. die Nachhallzeit). Ein besonders wichtiger Faktor ist der letztgenannte. Die Nachhallzeit ist die Zeit, die der Schall nach Abschalten der Schallquelle braucht, um abzuklingen. Genauer: die Zeit in Sekunden, in der die Lautstärke bis auf ein Millionstel ihres ursprünglichen Wertes herabgesunken ist. Die für einen Abfall von 8 Phon in 0,1 sec erforderliche Nachhallzeit beträgt 0,75 sec. Maßgebend für Nachhall und Nachhallzeit ist das Material der Wände, der Decke, des Bodens und des Inhalts (Möbel, Teppiche und Personen) eines Raumes.

Die verschiedenen Baustoffe haben verschiedene Absorptionsvermögen, sie reflektieren den Schall oder „verschlucken" ihn mehr oder weniger. Das Absorptionsvermögen (Schluckvermögen) ist frequenzabhängig. In der folgenden Tabelle sind Absorptionswerte verschiedener Baustoffe in Prozenten bei verschiedenen Frequenzen angegeben. Im allgemeinen gilt, daß weiche Stoffe stark, harte schwach absorbieren.

Absorption in %

Baustoffe	128 Hz	256 Hz	512 Hz	1024 Hz	2048 Hz	4096 Hz
Putz, rauh	1	3	4	5	8	16
Ziegelmauer, roh	2	3	3	4	5	14
Ziegelmauer, verputzt	2	4	6	6	6	12
Holztäfelung	9	12	17	16	15	18
Kunststein	2	3	5	6	7	9
Marmor	2	2	3	3	4	5
Glas	4	3	3	2	2	3
Vorhang	5	10	23	26	30	34
Sperrholzplatten (3mm) auf 5 cm Luftpolster	17	30	19	10	12	13
Wachstuch auf 6 cm Luftpolster	48	72	60	43	28	15
Herakustik-Platten	5	16	50	64	62	60
Holzfaserplatten (direkt auf Wand)	8	15	22	25	30	36
Iporit-Betonwand 15 cm stark	26	35	38	40	30	42
Mineralwolle (4 cm stark mit Holzspangeflecht abgedeckt)	31	60	80	85	60	20
Baumwollstoff (glatt an der Wand)	4	9	13	21	32	40
Parkett	3	4	6	12	10	17
Linoleum	2	2	3	3	4	5
Gummi-Fußboden (5mm dick)	4	5	8	5	3	4
Korkfußboden	4	4	5	6	7	9
Teppich (im Mittel)	7	8	10	15	27	48

Durch die Anbringung drehbarer Teil-Wandflächen, die mit verschiedenartig schallabsorbierenden Stoffen bedeckt sind, können die akustischen Raumverhältnisse den jeweiligen Anforderungen bequem angepaßt werden (Bild 101).

Für das gesprochene Wort ist die *Verständlichkeit* der wichtigste Faktor. Es braucht kaum gesagt zu werden, daß ein Raum mit guter „Verständlichkeit" akustisch auch für Musikdarbietungen geeignet ist. (Über den Begriff der Verständlichkeit siehe auch unter Physiologische Akustik,

letzter Abschnitt). Gute akustische Verhältnisse setzen eine Verständlichkeit von 90% voraus (90% der Logatome wird verstanden). Sinkt die Verständlichkeit unter 65%, so bedeutet das, daß die raumakustischen Verhältnisse so schlecht sind, daß die Zuhörer das gesprochene Wort kaum mehr verstehen.

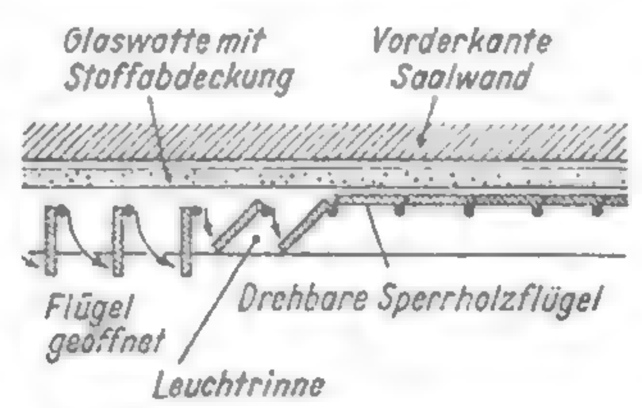


Bild 101. Drehbare Teilwandflächen zur Beeinflussung der raumakustischen Verhältnisse

Die Verständlichkeit ist nicht zuletzt abhängig von der Lautstärke. Die Lautstärke muß in einem Raum mit großer Schallabsorption größer sein, als in einem anderen mit geringer Schallschluckung. Sie muß so gewählt werden, daß an der von der Schallquelle entferntesten Stelle noch 60 bis 70 Phon gemessen werden.

In Räumen mit normalen Absorptionsverhältnissen, in denen also nicht durch besondere schallschluckende Materialien für eine starke Herabsetzung der Reflexion gesorgt wird, nehmen die meisten Hörer reflektierten Schall auf. Das gestattet es, die ursprüngliche Lautstärke niedriger zu halten, vorausgesetzt, daß die Lautstärke für jeden Zuhörer an jedem Platz mindestens 60 Phon beträgt (einerlei, ob es sich um direkt aufgenommenen oder reflektierten Schall handelt).

Die Lautstärkeverminderung des reflektierten Schalls hängt von der Nachhallzeit ab. Gute Verständlichkeit verlangt einen Wert von mindestens 0,75 sec. Die Darstellung **Bild 102** gibt günstige Nachhallzeiten in Abhängigkeit vom Raumvolumen an.

Schließlich ist in bezug auf die Verständlichkeit der Störpegel zu berücksichtigen.

Zulässige Werte von Störlautstärken sind im Folgenden angegeben:

Raumart	Phon
Rundfunkstudios, Tonfilmateliers	12...15
Krankenhäuser	14...18
Wohnungen	16...20
Theater, Schulräume	16...30
Öffentliche Ämter und Büros	30...45

Die Verstärkerleistung, die für verschieden große Räume erforderlich ist, geht angenähert aus folgender Zusammen-

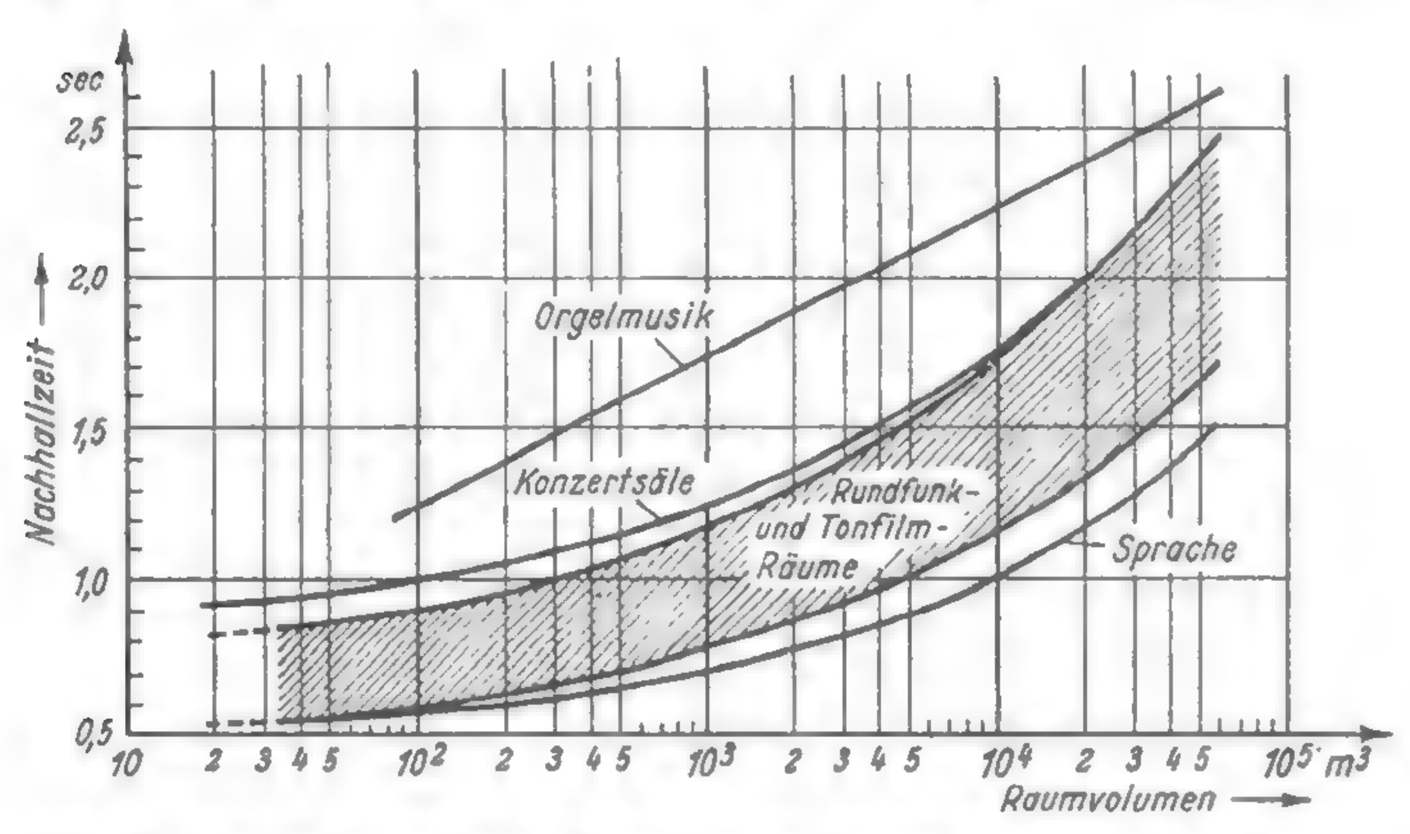


Bild 102. Günstige Nachhallzeiten für verschiedene Raumgrößen (bei mittlerer Frequenz)

stellung hervor, wobei ein niedriger Störpegel angenommen ist. Die Verstärkerleistung muß bei größeren Raumgeräuschen entsprechend erhöht werden.

Rauminhalt in m³	Erforderliche Verstärkerleistung in stark gedämpftem Raum Watt	in normal gedämpftem Raum Watt	in hallendem Raum Watt
100... 500	2... 4	1... 3	0,5...1,5
500...5000	5...30	1...15	0,8...3
über 5000	über 40	über 20	über 5

Erhöhung der erforderlichen Verstärkerleistung bei:

Mittlerem Raumgeräusch (kleinere Versammlungsräume) .... 2... 5 mal

Starkem Raumgeräusch (laute Gaststättenbetriebe) 5...20 mal

Es empfiehlt sich, die Verstärkerleistung stets höher vorzusehen, als die Berechnung ergibt; eine Verringerung während des Betriebes ist immer möglich.

Für das Freie gelten annähernd die folgenden höheren Werte:

Zu beschallende Fläche in m²	Erforderliche Verstärkerleistung in Watt	
	Platz nach allen Seiten hin frei	Platz von schallreflektierenden Häuserwänden teilweise umgeben
1 000	7	3... 7
2 000	10	7... 10
5 000	30	20... 30
20 000	100	75...100

Reflexion siehe unter Schallreflexion.

Reichweite des Schalls (Maximalwerte)

Rufweite .... 1 km
Kirchenglocken .... 5 km
Donner .... 35 km
Schallsender in Leuchttürmen .... 75 km
Kanonendonner .... 150 km

Reizschwelle siehe unter Physiologische Akustik.

Resonanz. Bei genauer Abstimmung z. B. zweier Saiten oder zweier Stimmgabeln aufeinander regen die Schwingungen des ersten Systems das zweite zu Schwingungen an. Jeder Körper kann in Resonanzschwingungen geraten, wenn das ihn umgebende Medium in der Frequenz der ihm eigentümlichen Schwingungen (Eigenschwingungen) hin und her pendelt.

Richteffekt siehe unter Mikrofon.

Richtungshören. Bestimmung der genauen Richtung ankommenden Schalls. Beim menschlichen Hören besteht eine relativ geringe Fähigkeit des Richtungshörens. Sie ist darauf zurückzuführen, daß ein Oh. den Schallweg früher als das andere aufnimmt. Der kleinste mit dem Ohr noch als Richtung gewertete Zeitunterschied beträgt $^1/_{33000}$ Sekunde. Wird der Ohrabstand künstlich vergrößert, z. B. durch Aufstellen voneinander entfernter Horchtrichter, so wird das Richtungshören verfeinert. Beträgt der Winkel beim normalen Hören, innerhalb dessen keine Richtungsunterschiede mehr festzustellen sind, 3 Winkelgrade, so lassen sich mit Horchtrichtern, die $1^1/_4$ m voneinander aufgestellt sind, noch Winkelunterschiede von ½ Grad unterscheiden. Erweiterung des technischen Verfahrens durch Mikrofone und Verstärker. — Die Sicherheit des normalen Richtungshörens nimmt mit zunehmender Tonfrequenz ab.

S

Saphir-Tonabnehmer siehe unter Schallplatte.

Schallaufnahme siehe unter Magnetton, Lichtton, Schallband, Schallplatte.

Schallausbreitung. Schall breitet sich kugelwellig aus. Eine reine Kugelwelle entsteht aber nur dann, wenn die Abmessungen der Schallquelle klein sind, gemessen an der abgestrahlten Schallwellen-Länge. In Gasen und Flüssigkeiten breitet sich der Schall in Form von Longitudinalwellen aus, in festen Körpern kann die Schallfortpflanzung sowohl mit longitudinalen als auch mit transversalen Wellen vor sich gehen.

Schallband. Das Schallband entspricht im allgemeinen der Schallplatte mit dem Unterschied, daß die Schallrillen gradlinig auf einem Bande (Kunststoff), anstatt spiralig auf einer

runden Platte angeordnet sind. Die Tonspur ist weder optischer noch magnetischer, sondern *mechanischer* Art, wie bei der Schallplatte.

Beim *Philips-Miller-Verfahren* erfolgt die Aufzeichnung durch einen keilförmigen Stichel, der sich senkrecht zur Aufzeichnungsebene, gesteuert von den Tonfrequenzströmen, auf- und abbewegt (**Bild 103**). Tonträger ist ein Zelluloid-

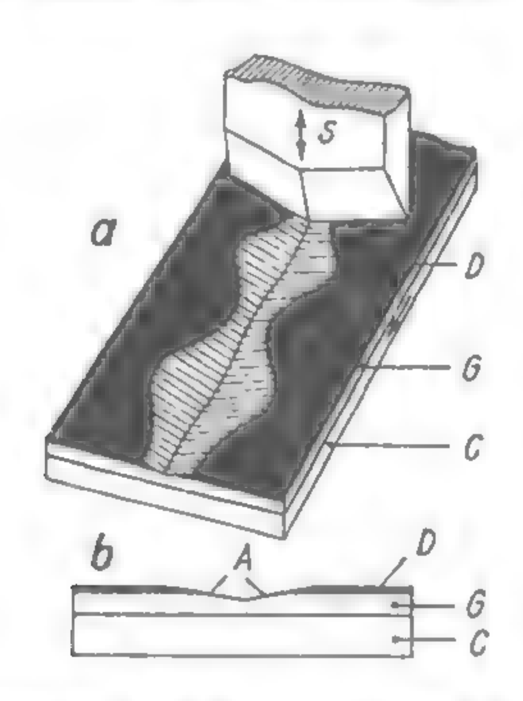


Bild 103. Schematische Darstellung der Tonaufzeichnung nach dem Philips-Miller-Verfahren. C Zelluloid- (Film) Streifen; G Durchsichtige Gelatineschicht; D Undurchsichtige Deckschicht; S Stichel des Tonschreibers (Bewegungsrichtung Auf und Ab); A Ränder der Tonspur

streifen, der eine durchsichtige Gelatineschicht und darüber eine dünne undurchsichtige Deckschicht trägt (etwa 3 μ stark). Das Tonband („Philinil"-Band) wird bei der Aufnahme unter dem Stichel hergezogen, der je nach der Bewegungsfrequenz einen mehr oder weniger breiten Span aus der Schicht herausschneidet. Auf diese Weise entsteht eine in der Breite verschiedenartige durchsichtige Tonspur (herausgeschnittene Deckschicht). Die Abtastung des Tonstreifens wird auf optischem Wege (Lichtton) vorgenommen. Filmgeschwindigkeit: 45,6 cm/sec. — Frequenzkurve im Bereich zwischen 30 und 8000 Hz gradlinig.

Ein seit über 25 Jahren bekanntes Verfahren ist das „Tefifon"-Schallband-Verfahren, das in letzter Zeit sehr vervollkommnet wurde. Tonträger ist ein endloses 16 mm breites Band aus Kunststoff (Tefiplast), das in einer Kassette aufgespult untergebracht ist. Die Kassette gibt durch einen

schmalen Spalt eine kurze Bandschlaufe frei, die zum Abspielen um eine Rolle gelegt wird. Das Band trägt 56 Schallrillen, 4 je mm. Da das Band in sich um 180° verdreht ist (Möbiussches Band), ist praktisch nur *eine* sehr lange Schallrille vorhanden. Abtastung durch piezoelektrischen Saphir-Tonabnehmer. Spieldauer bis zu einer Stunde. Bandgeschwindigkeit 45,6 cm/sec.

Schalldämmung. Die Bauakustik will u. a. das unerwünschte Eindringen störenden Schalles in das Innere von Gebäuden durch eine schalldämmende Bauweise verhindern. Maß für die Schalldämmung ist (bei zwei Räumen) das logarithmische Verhältnis der Schallintensität in dem Raum mit der Schallquelle zu der Schallintensität in dem Raum, in den der Störschall eingedrungen ist. Einheit ist das Dezibel.

Schalldichte ist der zeitliche Mittelwert der Schallenergie (Schallstärke) je Rauminhalt in cm³.

Schalldruck ist der durch Schallschwingungen hervorgerufene Wechseldruck je Flächeneinheit. Maß für den Schalldruck: Mikrobar (μb) = dyn/cm². Werte siehe unter Lautstärke.

Schalldynamik. Der bei elektroakustischen Anlagen und im einzelnen bei ihren Übertragungsgliedern praktisch zu erzielende Lautstärkenbereich, der noch genügend störungsfrei wiedergegeben werden kann, wird mit Dynamik bezeichnet (siehe dort).

Schallempfindung siehe unter Physiologische Akustik.

Schallfluß ist das Produkt aus Schallschnelle und Strömungsquerschnitt.

Schallgeschwindigkeit. Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls; sie hängt von dem jeweils vorhandenem Medium ab. Sie wird in m/sec angegeben und ist das Produkt aus Frequenz (Hz) und Wellenlänge (m).

Schallgeschwindigkeit in gasförmigen Körpern bei 20° C in m/sec

Kohlendioxyd	260	(Wasserdampf	410)
Sauerstoff	316	Leuchtgas	450
Luft	340 (bei 0° C 333 m/sec)	Helium	971
Stickstoff	338	Wasserstoff	1305

Schallgeschwindigkeit in flüssigen Körpern bei 20° C in m/sec

Benzin	1160	Petroleum	1400	Meerwasser	1510
Alkohol	1200	Wasser (rein)	1485		

Schallgeschwindigkeit in festen Körpern bei 20° C in m/sec

Gummi (weich)	40 ... 50	Papier	2000 ... 2100	Kupfer	3500
		Gold	2100	Marmor	3810
Kork	430 ... 530	(Eis bei 0° C	2100)	Granit	3950
Paraffin	650	Silber	2678	Eisen	4900 ... 5200
Blei	1300	Tannenholz	3320		
Hartgummi	1500 ... 1570	Eichenholz	3380	Stahl	4990
Benton	1660	Buchenholz	3400	Aluminium	5105
Hanfschnur	1800	Messing	3480	Glas	5200

Die Temperatur beeinflußt die Schallgeschwindigkeit. Für Fortpflanzung des Schalls in der *Luft* ergeben sich folgende Werte:

Temperatur	Schallgeschwindigkeit m/sec	Temperatur	Schallgeschwindigkeit m/sec
− 10° C	330	+ 30° C	350
0°	333	+ 100°	390
+ 10°	337	+ 500°	550
+ 20°	343	+ 1000°	700

Schallhärte (akustischer Widerstand) ist das Verhältnis des Schalldruckes zum Schallausschlag. Die Schallhärte wird in „akustischen Ohm" gemessen:

$$1 \text{ akust. Ohm} = \frac{1 \text{ Dyn/cm}^2}{1 \text{ cm/sec}}$$

Schallintensität = Schallstärke (siehe diese).

Schalleistung ist die Energie, die in der Zeiteinheit durch eine beliebige Fläche strömt. (Schalleistung von Musikinstrumenten, siehe diese.)

Schallpässe siehe Pässe.

Schallplatte. Das bei der Schallplatte in Anwendung kommende elektromechanische Verfahren wird auch Nadeltonverfahren genannt. Die in das Aufnahmematerial der Schallplatte spiralig eingravierten Rillen sind entsprechend den Amplituden des Elektroschalls seitlich wellig *(Seitenschrift)* oder in ihrer Tiefe verschieden *(Tiefenschrift)*. Die Tiefenschrift, nach ihrem Erfinder auch Edisonschrift genannt, wird kaum mehr verwandt. Man hat das System zugunsten der von Berliner eingeführten Seitenschrift, die einige technische Vorteile bietet (Berliner Schrift) wieder verlassen **(Bild 104 und 105).**

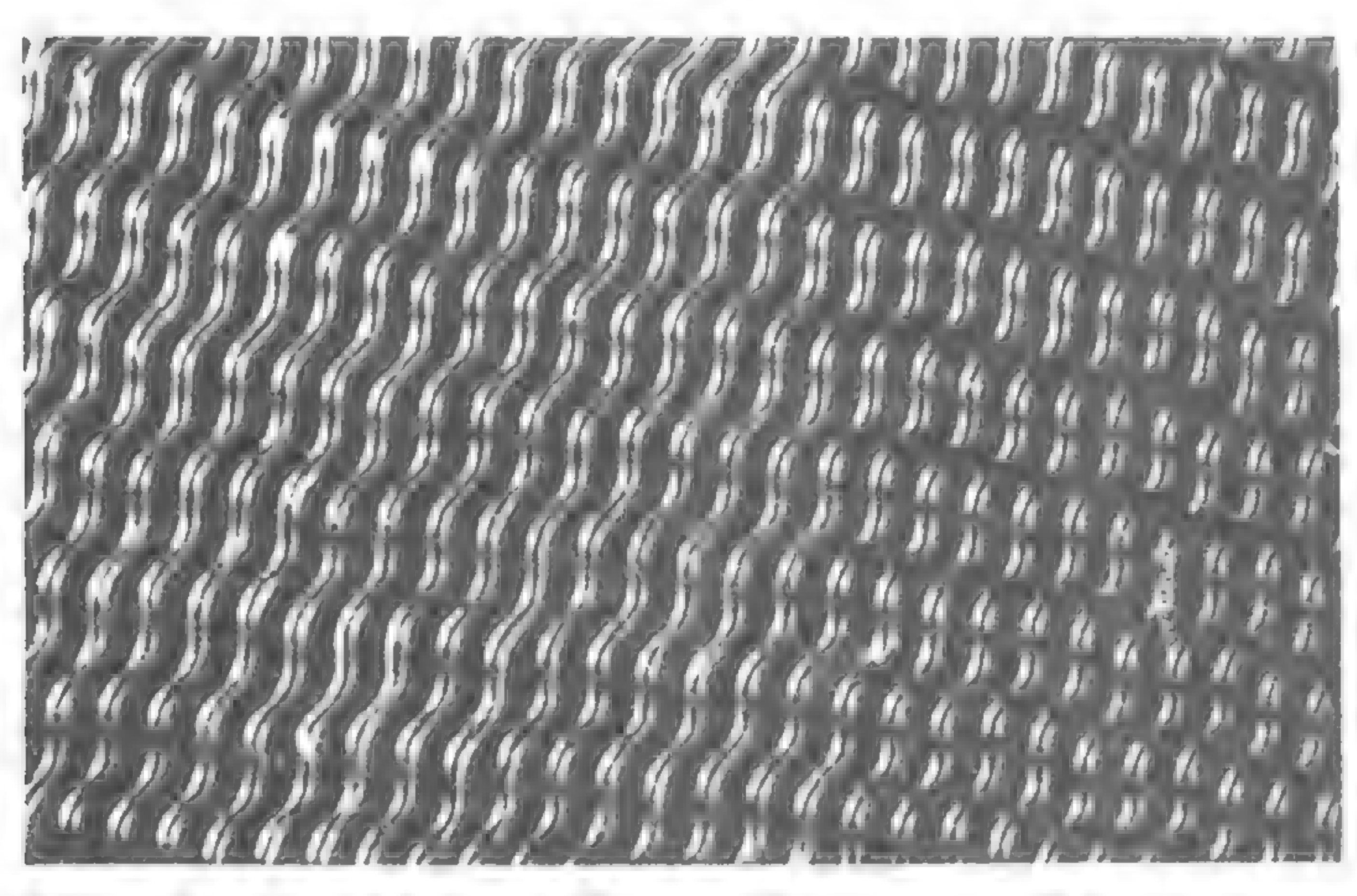


Bild 104. Vergrößerte Aufnahme des Teiles einer Schallplatte, deren Rillenschwankungen einer Frequenz von 800 Hertz entsprechen

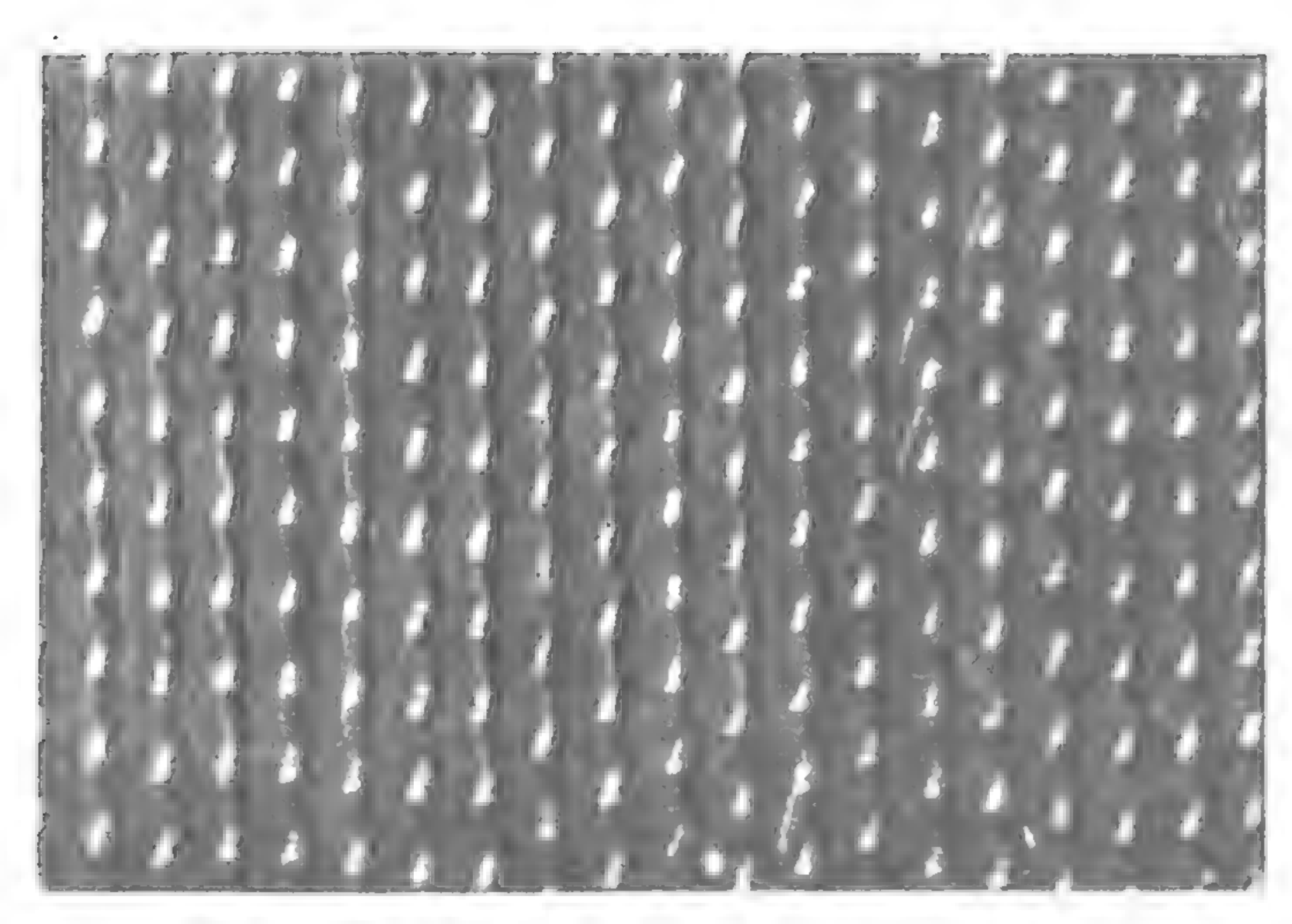


Bild 105 Wie Bild 104 jedoch mit einer Frequenz von 1500 Hertz

Ziel der Weiterentwicklung der Schallplattenverfahren ist vor allem Geräuschfreiheit und längere Spieldauer. Die Umdrehungszahl der Schallplatte beträgt entweder 78 U/min (normale Schallplatte), 45 oder 33¹/₃ U/min (Langspielplatte).

Schallträger bei der Aufnahme ist im allgemeinen eine etwa 30 mm starke Wachsplatte, die Grundlage zur Vervielfältigung und Herstellung der Schwarzplatten (Schellackplatten). Daneben werden Schallfolien von einigen Millimeter Dicke verwendet, die aus Kunstharz, Gelatine oder aus mit bestimmten Lacken überzogenen Metallplatten (zur direkten Wiedergabe) bestehen.

Die Aufzeichnung, bei der gleichzeitig die Rillen geschnitten werden, erfolgt mit Hilfe elektromagnetisch arbeitender Tonschreiber. (Prinzip siehe **Bild 106.**) Heute verwendet man fast ausschließlich Schreiber, die nach dem elektrodynamischen System arbeiten. — Der Stichel besteht aus einem entsprechend geschliffenen Saphir.

Die größten Ankerauslenkungen bestimmen den Abstand der Rillen voneinander (ca. ¹/₄ mm).

Das Leistungsvermögen wird für Tonschreiber in mm Lichtbandbreite je Volt angegeben. Der Ausdruck „Lichtbandbreite" bedarf einer Erklärung. Läßt man parallele Lichtstrahlen, z. B. Sonnenlichtstrahlen, schräg auf eine Schall-

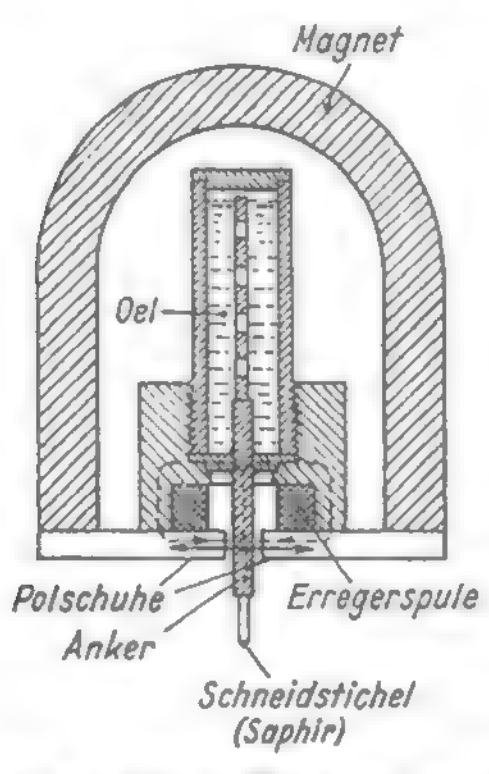


Bild 106. Schema eines ölgedämpften Tonschreibers (elektromagnetisches System)

platte oder eine Wachsplatte auffallen, so werden die Lichtstrahlen an den Rillenwänden reflektiert: es entsteht der Eindruck eines verschieden breiten Lichtbandes. Die folgende Tabelle läßt die Zusammenhänge zwischen Auslenkung (Amplitude), Geschwindigkeitsamplitude (bei einem sinusförmigen Ton: das Produkt aus Auslenkung und Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$) und Lichtbandbreite erkennen.

Frequenz f (Hz)	Auslenkung a in µ (1/1000 mm)	Geschwindigkeits-Amplitude (a. ω in cm/sec)	Lichtbandbreite für 78 U/min (in mm)
50	65	2,05	5
100	65	4,10	10
150	65	6,15	15
200	65	8,20	20
250	65	10,25	25
300	54	10,25	25
400	41	10,25	25
500	32,5	10,25	25
1000	16,3	10,25	25
5000	3,3	10,25	25

Bei konstanter Schallintensität sind die Auslenkungen, wie aus der Tabelle ersichtlich, groß. Zwischen 50 und 250 Hz zeichnet man mit konstanter Auslenkung auf, während man bei den höheren Frequenzen mit konstanter Geschwindigkeitsamplitude arbeitet. Es ergibt sich ein theoretischer Frequenzgang (zulässige Toleranz) für eine Schallplattenaufnahmeapparatur, gemessen durch die Lichtbandbreite, nach **Bild 107**.

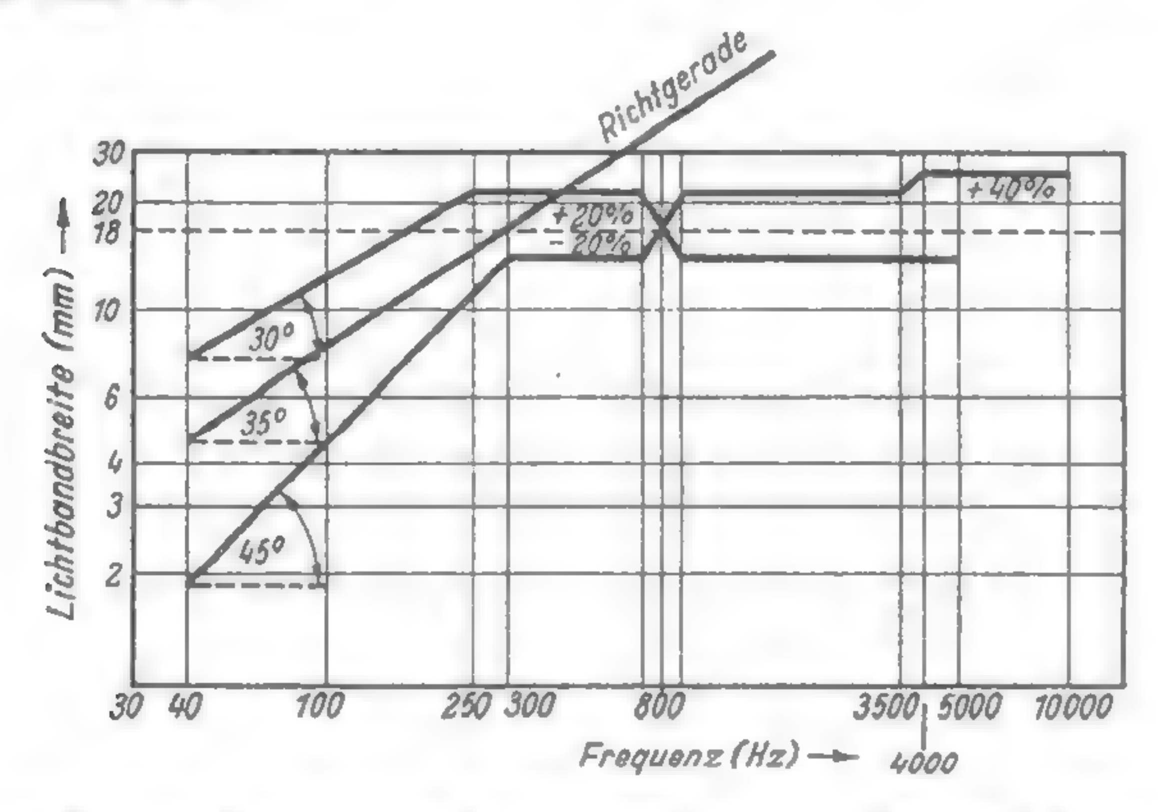


Bild 107. Zulässige Toleranzen einer Schallplatten-Aufnahme-Apparatur, gemessen durch die Lichtbandbreite

Die Lineargeschwindigkeit, mit der sich der Aufzeichnungsstichel oder die Nadel bei der Wiedergabe bewegt, ist nicht konstant. Sie ist abhängig von dem Durchmesser der Tonrille. Bei 78 U/min. beträgt die Lineargeschwindigkeit einer Tonrille von 10 cm Durchmesser 40 cm/sec und die einer Tonrille von 30 cm Durchmesser 120 cm/sec.

Die Vervielfältigung der Wachsplatte geschieht in der Weise, daß man sie auf galvanischem Wege mit einer metallischen Schicht überzieht, die abgelöst und dann mechanisch verstärkt wird. Dieses Schallrillennegativ nennt der Plattentechniker „Vater-Shell". Man könnte diesen Shell bereits zum Pressen verwenden, zieht aber vor, ihn als Originalnegativ zu konservieren und stellt — wieder auf galvanischem Wege — ein Positiv her („Mutter-Shell"), das zur Erzeugung eines

weiteren Negatives, des „Sohn-Shell“ dient. Der Sohn-Shell oder „Preß-Shell“ wird zum Pressen der käuflichen Platten benutzt.

Die wichtigsten Daten normaler 30-cm-Schwarzplatten (78 U/min) sind im folgenden aufgeführt:

Durchmesser der Tonrille innen		10 cm
	außen	29,5 cm
Geschwindigkeit der Tonrille innen		41 cm/sec
	außen	120 cm/sec
Wellenlänge innen für 50 Hz		0,82 cm
	für 5000 Hz	0,0082 cm
Wellenlänge außen für 50 Hz		2,4 cm
	für 5000 Hz	0,024 cm
Spieldauer		5 min.
Dynamik		35...40 db
Frequenzbreite (geradlinig auf ± 2 db)		30...8000 Hz
		(neuerdings 30...20 000 Hz)

Die Wiedergabe der Schallplatte erfolgt wie die Aufnahme auf elektromechanischem Wege, mit Hilfe von *Tonabnehmern* (Pik-up, Tontaster). Das Prinzip eines elektromagnetischen Tontasters zeigt **Bild 108.** Neben diesem System gibt es auch

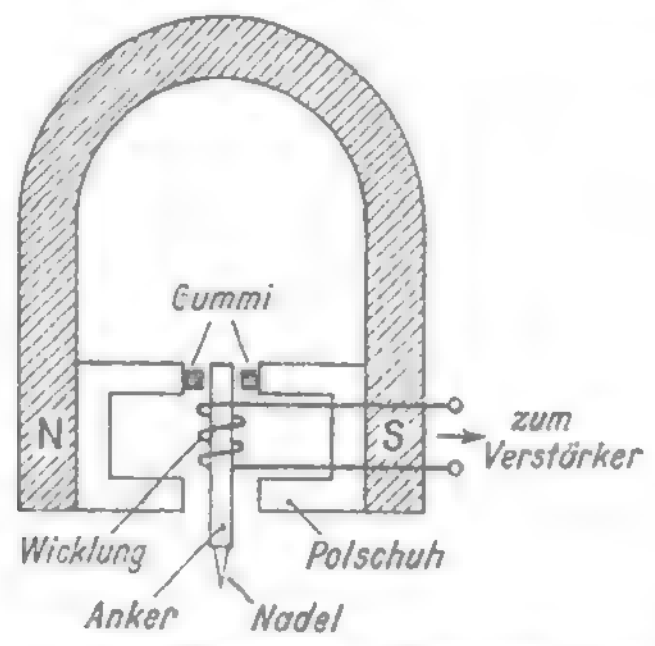


Bild 108. Schematische Darstellung eines elektromagnetischen Tonabnehmers

elektrodynamische und piezoelektrische (Kristalltonabnehmer). Ein solcher hat z. B. einen Frequenzbereich von 30 bis 6000 Hz; Spannung bei 1000 Hz und 12 mm Lichtbandbreite 0,8 bis 1,5 Volt; Auflagedruck etwa 25 g; Saphirdauernadel.

Dem Wunsche nach Verlängerung der Spieldauer kommt die *„Langspielplatte"* entgegen. Der Rillenabstand ist bei der normalen Schallplatte ein gleichmäßiger, unter Berücksichti-



Bild 109. Fester Rillenabstand bei einer normalen Schallplatte in der Vergrößerung

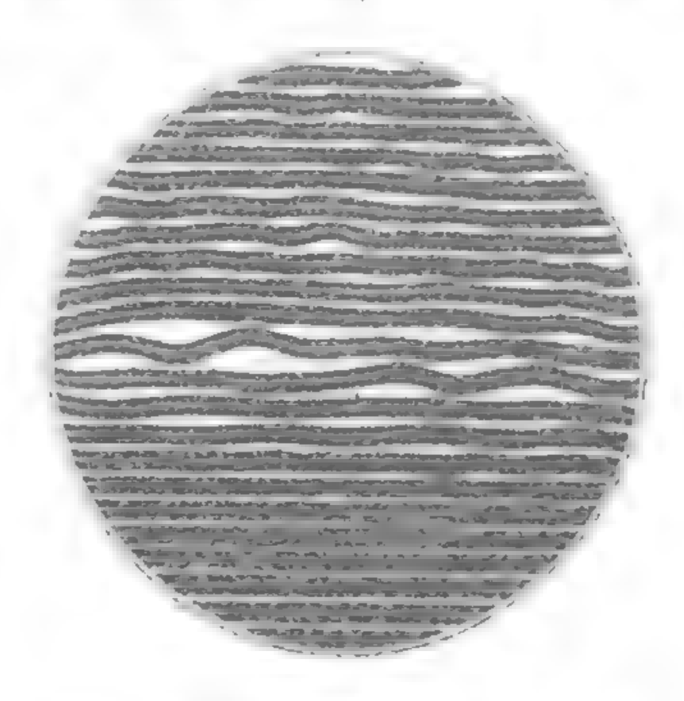


Bild 110. Veränderlicher Rillenabstand bei der Langspielplatte in der Vergrößerung

gung gelegentlich auftretender großer Auslenkungen bei großen Lautstärken **(Bild 109).** Macht man die Abstände variabel, d. h. lenkt man den Gravierungsvorgang automatisch derart, daß bei Fortestellen der Abstand größer ist als bei Pianostellen **(Bild 110),** so gewinnt man wesentlich an Raum: die Spieldauer wird größer (Rheinsches Füllschriftverfahren; Variable Micrograde der Deutschen Grammophon-Gesellschaft).

Neben den normalen Plattenspielern, bei denen jede neue Platte besonders aufgelegt werden muß gibt es Vielfachplattenspieler, die den Plattenwechsel automatisch vornehmen. Es gibt Modelle, mit denen Vorder- *und* Rückseite der Platten abgespielt werden können.

Das *Nadelgeräusch* kann durch Nadelgeräuschfilter herabgesetzt, mangelnde Tiefen bzw. Höhen können durch entsprechende Entzerrer angehoben werden (siehe diese).

Schallreflexion. Schallwellen werden ähnlich wie Lichtwellen reflektiert (übrigens auch wie diese gebrochen). Der Schall wird durch Beugung stärker beeinflußt. Beugung tritt dann auf, wenn die Wellenlänge vergleichbar groß zu

den in Betracht kommenden Körpermassen ist, mit anderen Worten: um Schallschatten zu liefern, muß ein Gegenstand viel größer sein, als für die Erzeugung entsprechender Lichtschatten. Trifft eine Schallwelle senkrecht auf ein Hindernis, so wird sie mit geringem Amplitudenwert zurückgeworfen. Bei einer Amplitude A verkleinert sich diese bei der Reflexion um einen gewissen Wert, der durch den Reflexionsfaktor k (der immer kleiner als 1 ist) bestimmt wird. Der k-Wert einiger Medien geht aus folgender Aufstellung hervor:

Medium	k bei senkrechtem Einfall	Medium	k bei senkrechtem Einfall
Glatte Steinwand	0,95	Stoffbespannte Wand	ca 0,50
Wasseroberfläche	0,95	Stoffdraperie (faltig)	0,20
Glatte Holzwand	ca 0,90	Waldrand	0,15

Schallschluckstoffe siehe unter Raumakustik.

Schallschnelle. Die Schallschnelle gibt die Geschwindigkeit an, mit der ein Masseteilchen hin- und herschwingt (nicht mit der Schallgeschwindigkeit zu verwechseln). Die Schallschnelle ist groß, wenn der Schalldruck groß ist, und klein, wenn das Medium dem Schalldruck einen großen Widerstand entgegensetzt.

Schallsender. Alle Schallerzeuger, z. B. Musikinstrumente, Stimmgabeln, Pfeifen, Sirenen, Stimmorgane, aber auch Kopfhörer und Lautsprecher.

Schallstärke (Schallintensität) ist die Schalleistung, die in der Sekunde durch die Flächeneinheit 1 cm² strömt. Einheit der Schallstärke ist

$$1 \frac{\text{Erg}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^2}$$

Schallzeilen siehe unter Lautsprecher.

Schwebung. Eine Schwebung tritt auf, wenn sich zwei Töne, deren Frequenzen nur wenig voneinander verschieden sind, überlagern. Schwebungen zeigen sich z. B. beim Klavier, wenn ein Ton von 2 oder 3 Saiten erzeugt wird und diese Saiten nicht genau aufeinander abgestimmt sind.

Schwingungsdauer ist die Zeit, innerhalb der eine Schwingung vor sich geht (Periode). Die Thomsonsche Formel läßt den Wert der Schwingungsdauer T aus Induktivität L und Kapazität C errechnen:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

Schwingungszahl siehe unter Frequenz.

Siebschaltungen siehe unter Pässe.

Silbenverständlichkeit siehe unter Physiologische Akustik.

Solovox-Gerät siehe unter Elektrische Musik.

Sprossenschrift siehe unter Lichtton.

Stahlton siehe Magnetton.

Stereofonie (Stereoakustik). „Plastische" Wiedergabe akustischer Vorgänge. Für stereoakustische Übertragungen sind zwei Mikrofone bei der Aufnahme, die in gewissem Abstand voneinander stehen, erforderlich. Die von ihnen gelieferten Tonfrequenzspannungen müssen über getrennte Verstärker getrennten Lautsprechern zugeführt werden.

Stimmung, musikalische, siehe unter Musik.

Störlautstärke siehe unter Raumakustik.

Strahlergruppen siehe unter Lautsprecher.

T

Tauchspulenmikrofon siehe unter Mikrofon.

Theremin - Ätherwellenklavier siehe unter Elektrische Musik.

Tiefpaß siehe unter Pässe.

Ton. Ein Ton ist der Schalleindruck einer einfachen Schallschwingung von sinusförmiger Form. Mit dem im allgemeinen Sprachgebrauch üblichen Wort „Ton" wird fast immer ein Klang bezeichnet, denn auch der einzelne Klavier-„Ton" ist ein „Klang".

Tonabnehmer siehe unter Schallplatte.

Tonabnehmerfilter siehe unter Pässe.

Tonblende siehe unter Klangregler.

Tonfilm siehe unter Lichtton.

Tonfrequenz. Bereich der hörbaren Schall-Schwingungen.

Tonhöhe ist gegeben durch die Schwingungszahl der betreffenden Schallwelle.

Tonregler siehe unter Klangregler.

Tontaster, Tonabnehmer, siehe unter Schallplatte.

Transformator siehe unter Übertrager.

Trautonium siehe unter Elektrische Musik.

Trittschall. Begriff der Bauakustik; man spricht z. B. von einer Trittschalldurchlässigkeit einer Deckenkonstruktion. Die Trittschallstärke soll den Wert von 80 Phon nicht überschreiten. Normales Gehen erzeugt dann in dem darunter liegendem Raum eine Lautstärke von 20 bis 40 Phon.

U

Überblender siehe unter Mischung von Tonfrequenzen.

Übersetzungsverhältnis siehe unter Übertrager.

Übertrager. In der Elektroakustik werden Transformatoren, die zur Übertragung von Tonfrequenzspannungen dienen, Übertrager genannt. Eine möglichst gradlinige Frequenzkurve zwischen 30 und mindestens 10 000 Hz ist für sie Bedingung. Anzustreben ist eine Erweiterung des Bereiches nach unten bis 20 Hz und nach oben bis 20 000 Hz. Für ihr „geradliniges" Arbeiten ist richtige Anpassung auf beiden Seiten, also an die Spannungsquelle einerseits und an den Verbraucher andererseits, wichtig. — Das Verhältnis der Windungszahlen zueinander nennt man „Übersetzungsverhältnis".

Die Dimensionierung des Ausgangsübertragers ist, sowohl was die Leistung als auch was die Reinheit der Wiedergabe anbelangt, besonders wichtig. Die Aufgabe des Ausgangsübertragers ist es, die Endröhre an den Lautsprecher anzupassen. Die Röhre hat einen hohen Innenwiderstand, zu ihr gehört die Seite des Transformators mit der hohen Windungszahl; dem geringen Widerstand des Lautsprechers entspricht die kleinere Windungszahl auf der Sekundärseite des Übertragers, (siehe auch unter Lautsprecher-Anpassung). Der Ausgangsübertrager hat schließlich die Aufgabe, den Anodengleichstrom vom Lautsprecher fern zu halten.

Ultraschall. Unhörbare Schallschwingungen oberhalb von 20 000 Hz sind „Ultraschall"-Wellen (unterhalb von 16 Hz liegt der Bereich des Infraschalls, siehe diesen).

V

Verdeckung siehe unter Physiologische Akustik.

Verständlichkeit siehe unter Physiologische Akustik.

Verstärker. (Nf-Verstärker = Niederfrequenz-Verstärker). Wichtigste Kenngröße ist der Verstärkungsgrad. Er ist festgelegt durch das Verhältnis Ausgangswert zum Eingangswert (Spannungen, Ströme, Leistungen). Maßeinheiten: Dezibel oder Neper. Die Güte des Verstärkers wird durch seine Frequenzkurve charakterisiert, die möglichst geradlinig zwischen Tiefen und Höhen verlaufen soll **(Bild 111)**. Die größten

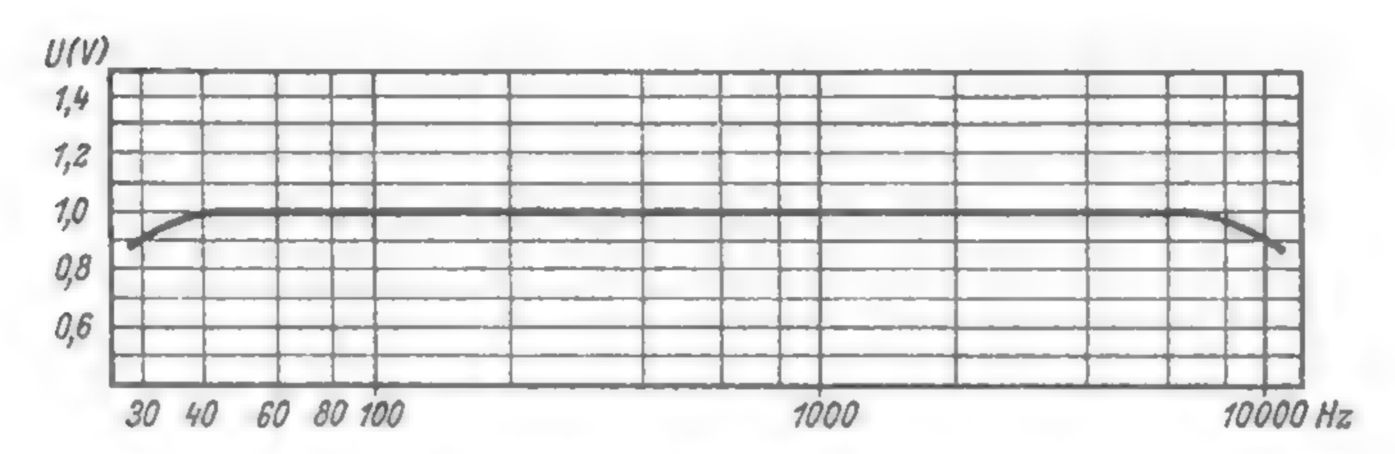


Bild 111. Frequenzkurve eines Spannungsverstärkers

linearen Abweichungen sollen im allgemeinen 2 db nicht überschreiten. Dritter Faktor für die Beurteilung eines Verstärkers ist der Wert des Klirrfaktors, der möglichst klein sein muß.

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Spannungsverstärkung, Stromverstärkung und Leistungsverstärkung.

Der als *Widerstandsverstärker* bezeichnete Typ ist ein Spannungsverstärker; man nennt ihn besser „RC-Verstärker" (R = Widerstand, C = Kapazität). Als Außenwiderstände werden ohmsche Widerstände benutzt, als Übertragungsglieder Kondensatoren. Spannungsverstärker sollen kleine Tonfrequenzspannungen auf wesentlich höhere Werte bringen. Eine Grenze für den Verstärkungsgrad ist durch die Rauschspannung der ersten Röhre und durch die Gefahr der

Selbsterregung gegeben. Das grundsätzliche Schaltbild eines RC-Verstärkers zeigt **Bild 112.**

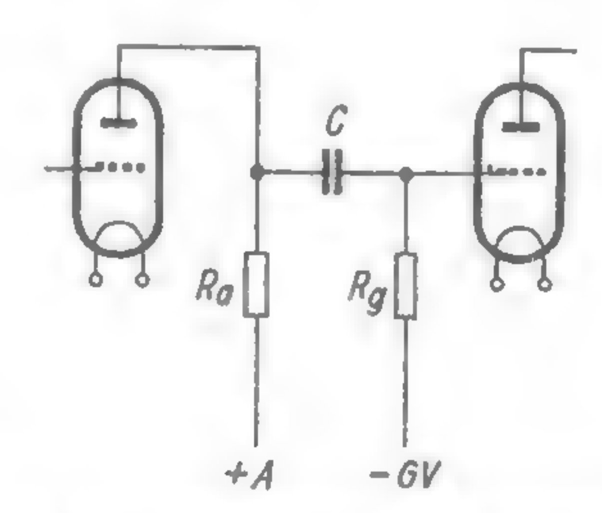


Bild 112. Prinzip der Widerstandsverstärkung

Beim *Transformatorverstärker* (Spannungsverstärker) werden die Glieder über Transformatoren (besser Übertrager) miteinander gekoppelt. Grundsätzliches Schaltbild siehe **Bild 113.** Die Schaltung wird in modernen Geräten kaum mehr verwendet.

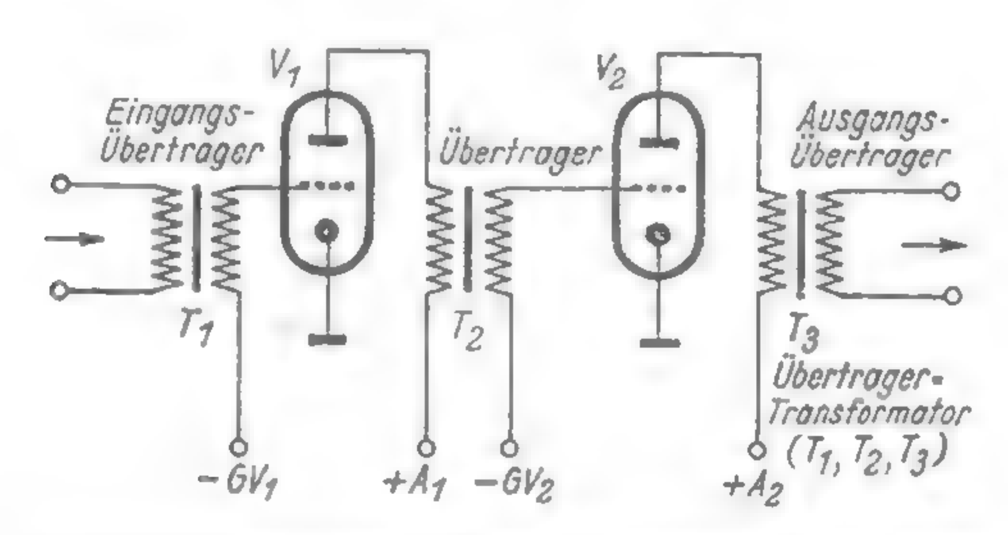


Bild 113. Prinzipschaltbild eines Transformator-Verstärkers

Die *Stromverstärkung,* die durch die Röhrensteilheit und die Größe des Eingangswiderstandes bestimmt wird, ist nur in Sonderfällen von Bedeutung und wird z. B. in der Meßtechnik angewandt.

Die *Leistungsverstärker* werden in fünf Hauptgruppen eingeteilt, in A-, B-, AB-, C- und D-Verstärker.

Der *A-Verstärker* ist so aufgebaut, daß der Arbeitspunkt in der Mitte des geraden Teiles der Röhrenkennlinie (Gitterspannungs-Anodenstrom-Kennlinie) liegt, siehe **Bild 114.**

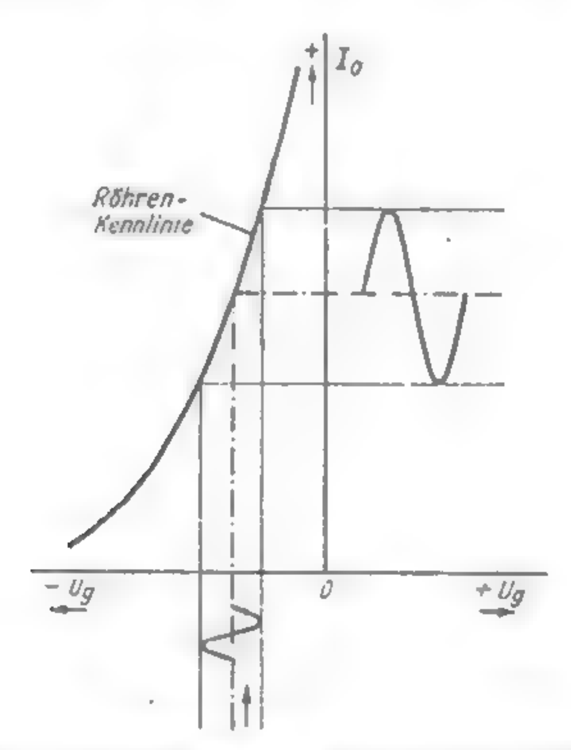


Bild 114. Arbeitsdiagramm des A-Verstärkers

Das Arbeitsdiagramm des *B-Verstärkers* zeigt **Bild 115.** Die Gittervorspannung liegt viel höher als beim A-Verstärker, daher ist auch der Ruhestrom fast gleich Null.

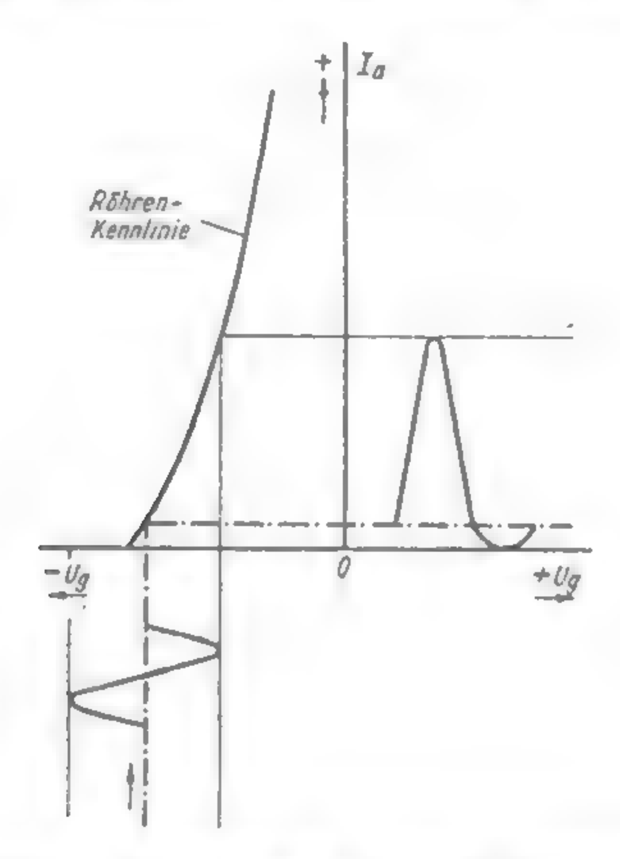


Bild 115. Arbeitsdiagramm des B-Verstärkers

Die Arbeitsweise des *AB-Verstärkers* geht aus Bild 116 hervor. Der Arbeitspunkt auf der Kennlinie der Röhre liegt etwa in der Mitte zwischen den entsprechenden Punkten bei der A- und der B-Verstärkung.

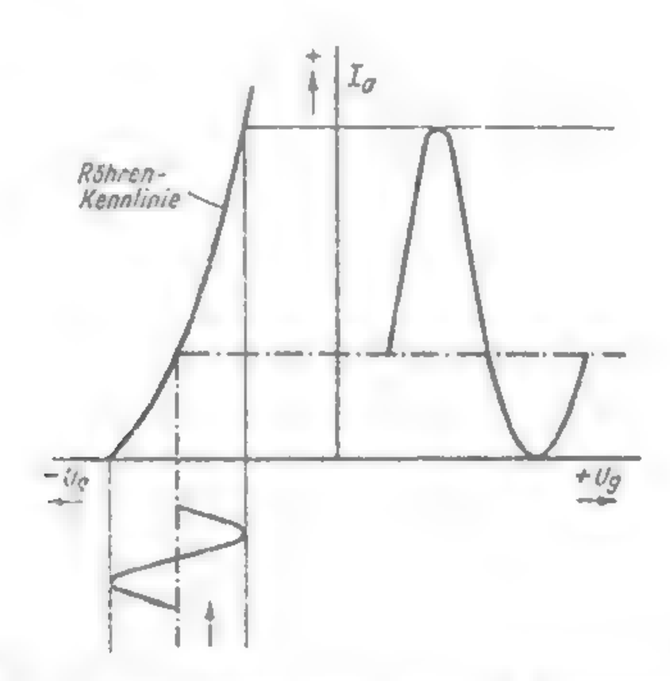


Bild 116. Arbeitsdiagramm des AB-Verstärkers

C-Verstärker schalten hier aus den Betrachtungen aus, da sie nur für die Hf-Verstärkung in Sendern benutzt werden.

D-Verstärker haben wie die AB-Verstärker eine unsymmetrische Röhrenaussteuerung. Der Arbeitspunkt liegt an gleicher Stelle wie bei der AB-Anordnung, wird jedoch nicht mit wachsender Aussteuerung verschoben.

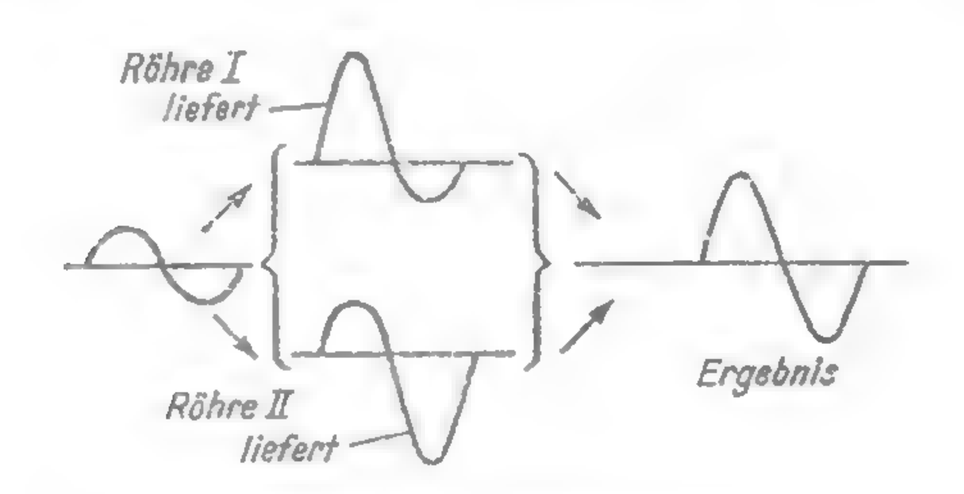


Bild 117. Arbeitsweise bei der Gegentaktschaltung

Gegentaktverstärker und Gegentaktendstufen sichern eine gute Wiedergabe: sie sind gegen Brummspannungen un-

empfindlich, die aus der Anoden- und Schirmgitterspannungs-Versorgung der Endstufe stammen. Sie gleichen Unsymmetrien automatisch aus (Bild 117 schematisch angedeutet). Die grundsätzliche Schaltung zeigt **Bild 118.**

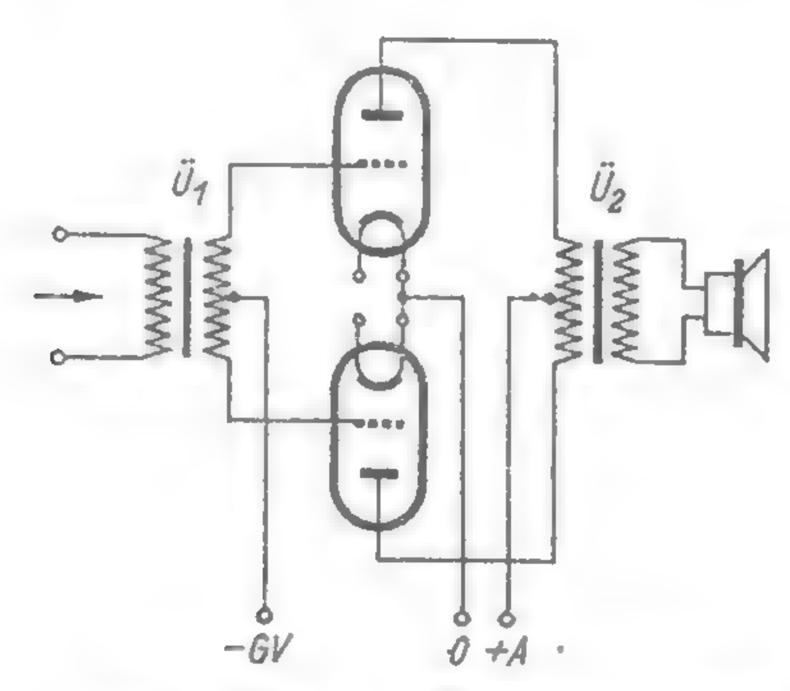


Bild 118. Prinzip der Gegentaktschaltung

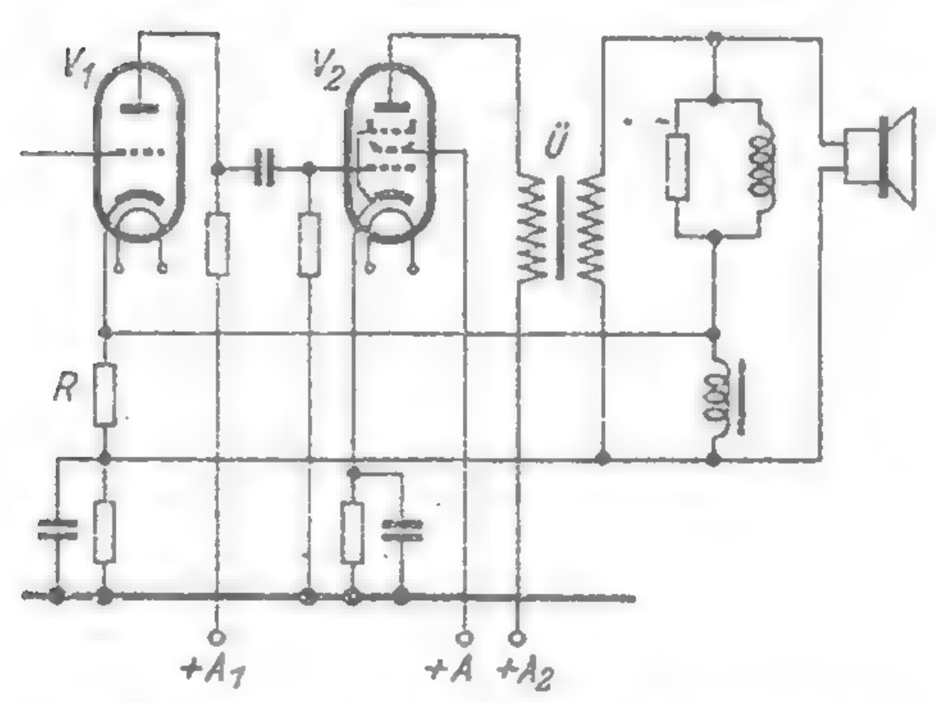


Bild 119. Beispiel für eine Gegenkopplungsschaltung

Die *Gegenkopplungsschaltung* bietet die Möglichkeit, wirksam zu entzerren und lineare und nichtlineare Verzerrungen klein zu halten. Allerdings ist eine Verstärkungsminderung mit ihr verbunden, da sie in gewissem Sinne eine negative Rückkopplung ist. **Bild 119** gibt ein Beispiel für eine Gegen-

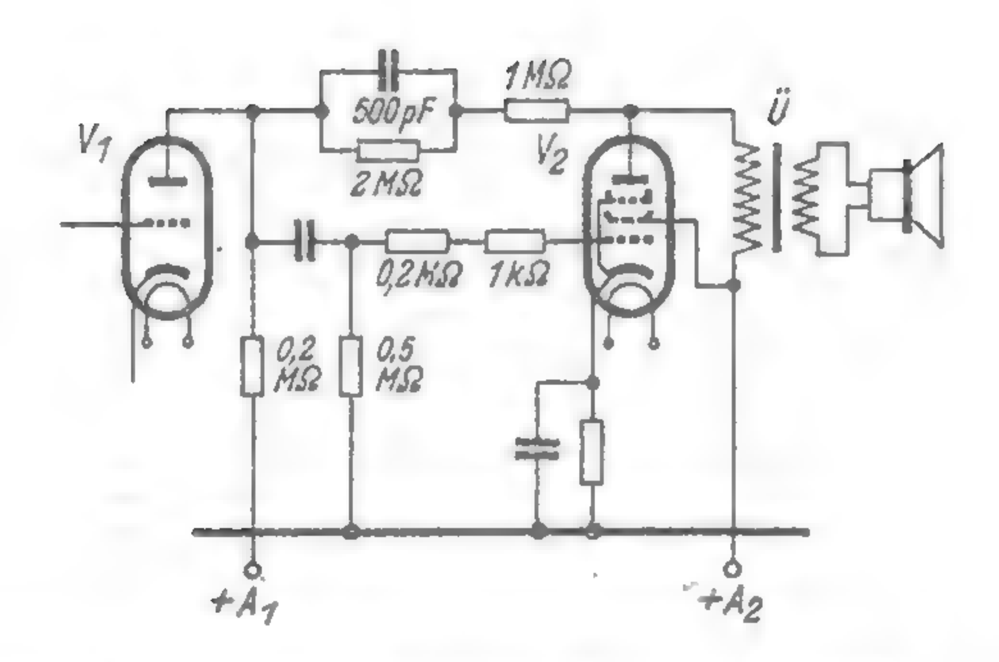


Bild 120. Zweites Beispiel für eine Gegenkopplungsschaltung (Anode der Endröhre auf Anode der Vorröhre)

kopplungsschaltung an. Nebeneinander geschaltet mit dem Lautsprecher liegt eine Spannungsteileranordnung, von der ein Teil der Ausgangsspannung abgenommen wird. Sie wirkt sich als Gegenspannung an dem Koppelwiderstand R der Vorröhre aus. Eine andere Gegenkopplungsschaltung ist in **Bild 120** dargestellt. Sie wirkt von der Anode der Endröhre auf die Anode der voraufgehenden Röhre. In der Gegenkopplungsleitung liegen zwei hintereinandergeschaltete Widerstände. Der größere ist durch einen Kondensator als Durchlaß für hohe Tonfrequenzen überbrückt.

Über die *Verstärkerleistung* sind entsprechende Angaben unter Raumakustik gemacht.

Verzerrungen siehe unter Lineare Verzerrungen, unter Nichtlineare Verzerrungen und unter Klirrfaktor.

Vierpole sind Schaltanordnungen zur Übertragung elektrischer Energie, die zwei Pole als Eingangs- und zwei Pole als Ausgangsklemmen haben. Vierpole sind z. B. Doppelleitungen aller Art, Übertrager, Siebschaltungen, Entzerrer, Pässe aller Art, Verstärker. Als Vierpole gelten aber auch drahtlose Strecken einschließlich der Sende- und Empfangsantennen.

W

Weber-Fechnersches Gesetz. Nach diesem Gesetz wächst die Schallempfindung des menschlichen Ohres annähernd mit dem Logarithmus der wirklich vorhandenen Schallstärken und Schalldrücke („Logarithmus" siehe unter „Dezibel").

Wellenwiderstand, Materialkonstante. Der Schallwellenwiderstand 3 beträgt z. B. für Aluminium und Glas 1 380 000, für Hartgummi 181 000, für Weichgummi 5000, für Luft 41,5 (gcm^{-2} s^{-1}).

Widerstandssiebeketten sind Gleichrichterfilter (siehe Pässe) in denen die Drosseln durch Widerstände ersetzt sind. Sie werden praktisch nur bei der Siebung sehr kleiner Gleichströme verwendet.

Widerstandsverstärker siehe unter Verstärker.

Wiedergabekopf auch „Hörkopf" siehe unter Magnetton.

Tabellenanhang

Vorzeichen zur Bezeichnung von Vielfachen und Teilen

T Tera	$= 10^{12}$ =	1 000 000 000 000	Billion (Bio)
G Giga	$= 10^{9}$ =	1 000 000 000	Milliarde (Mrd)
M Mega	$= 10^{6}$ =	1 000 000	Million (Mio)
k Kilo	$= 10^{3}$ =	1 000	Tausend (Tsd)
h Hekto	$= 10^{2}$ =	100	Hundert
D Deka	$= 10^{1}$ =	10	Zehn
	10^{0}	1	Eins
d Dezi	$= 10^{-1}$ =	0,1	Zehntel
c Zenti	$= 10^{-2}$ =	0,01	Hundertstel
m Milli	$= 10^{-3}$ =	0,001	Tausendstel
µ Mikro	$= 10^{-6}$ =	0,000 001	Millionstel
n Nano	$= 10^{-9}$ =	0,000 000 001	Milliardstel
p Pico	$= 10^{-12}$ =	0,000 000 000 001	Billionstel

Längenmaße

Einheit	mÅ	pm	Å	mμ	μ	mm	cm	dm	m	km
1 mÅ (=1XE) =	1	10^{-1}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	—	—
1 pm =	10	1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	—
1 Å =	10^{3}	10^{2}	1	10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	—
1 mμ =	10^{4}	10^{3}	10	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-12}
1 μ =	10^{7}	10^{6}	10^{4}	10^{3}	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}
1 mm =	10^{10}	10^{9}	10^{7}	10^{6}	10^{3}	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}
1 cm =	10^{11}	10^{10}	10^{8}	10^{7}	10^{4}	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}
1 dm =	10^{12}	10^{11}	10^{9}	10^{8}	10^{5}	10^{2}	10	1	10^{-1}	10^{-4}
1 m =	—	10^{12}	10^{10}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10	1	10^{-3}
1 km =	—	—	—	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	10^{3}	1

Vergleiche mit englischen bzw. amerikanischen Maßen

Einheit	in (inch)	ft (foot)	yd (yard)	stat. mile	naut. mile	mm	m	km
1 in. (inch) =	1	0,08333	0,02778	—	—	25,4	0,0254	—
1 ft. (foot) =	12	1	0,3333	—	—	304,8	0,3048	—
1 yd. (yard) =	36	3	1	—	—	914,4	0,9144	—
1 Stat. mile =	63360	5280	1760	1	0,8684	—	1609	1,609
1 naut. Mile [1]) =	72960	6080	2027	1,152	1	—	1853	1,853
1 mm =	0,03937	$3{,}281 \cdot 10^{-3}$	$1{,}094 \cdot 10^{-3}$	—	—	1	0,001	10^{-6}
1 m =	39,37	3,281	1,094	—	—	1000	1	0,001
1 km =	39370	3281	1094	0,6214	0,5396	10^{6}	1000	1

[1]) 1 naut. mile/h = 1 Knoten = 1,853 km/h

Flächenmaße

Einheit	km²	ha	a	m²	dm²	cm²	mm²
1 km² (Quadratkilom.)	1	10^2	10^4	10^6	10^8	10^{10}	10^{12}
1 ha (Hektar)	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6	10^8	10^{10}
1 a (Ar)	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6	10^8
1 m² (Quadratmeter)	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6
1 dm² (Quadratdezimeter)	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4
1 cm² (Quadratzentimeter)	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2
1 mm² (Quadratmillimeter)	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	11^{-4}	10^{-2}	1

Vergleiche mit englischen bzw. amerikanischen Maßen

Einheit	sq. in.	sq. ft.	sq. yd.	sq. mile	cm²	dm²	m²	ha	km²
1 sq. in. *) =	1	—	—	—	6,452	0,06452	—	—	—
1 sq. ft. =	144	1	0,1111	—	929	9,29	0,0929	—	—
1 sq. yd. =	1296	9	1	—	8361	83,61	0,8361	—	—
1 sq. Mile =	—	—	—	1	—	—	—	259	2,59

*) sq. in. = square inch; sq. ft. = square foot: sq. yd. = square yard.

Einheit	sq. in.	sq. ft.	sq. yd.	sq. mile
1 cm^2	0,155	—	—	—
1 dm^2	15,5	0,1076	0,01196	—
1 m^2	1550	10,76	1,196	—
1 a	—	1076	119,6	—
1 ha	—	107600	11960	—
1 km^2	—	—	—	0,3861

Raummaße

Einheit	m^3	hl	l	dm^3	cm^3	mm^3
1 m^3 (Kubikmeter)	1	10	10^3	10^3	10^6	10^9
1 hl (Hektoliter)	10^{-1}	1	10^2	10^2	10^5	10^8
1 l (Liter)	10^{-3}	10^{-2}	1	1	10^3	10^6
1 dm^3 (Kubikdezim.)	10^{-3}	10^{-2}	1	1	10^3	10^6
1 cm^3 (Kubikzentim.)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}	1	10^3
1 mm^3 (Kubikmillim.)	10^{-9}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-3}	1

Vergleiche mit englischen bzw. amerikanischen Maßen

			nur amerikanisch		nur englisch				
Einheit	cu. in.	cu. ft.	US-liquid-quart	US-gallon	Imp. quart	Imp. gallon	cm^3	dm^3	m^3
1 cu. in.	1	—	0,017 32	—	0,014 42	—	16,39	0,016 39	—
1 cu. ft.	1 728	1	29,92	7,481	24,92	6,229	—	28,32	0,028 32
1 cu. yd.	46 656	27	807,9	202	672,8	169,2	—	764,6	0,764 6
1 US-liquid-quart	57,75	0,033 42	1	0,25	0,832 7	0,208 2	946,4	0,946 4	—
1 US-gallon	231	0.133 7	4	1	3,331	0,832 7	3 785	3,785	—
1 Imp. quart	69,36	0,040 14	1,201	0,300 2	1	0,25	1 136	1,136	—
1 Imp. gallon	277,4	0,160 5	4,804	1,201	4	1	4 546	4,546	—

cu. in. = cubic inch; cu. ft. = cubic foot; cu. yd. = cubik yard

			nur amerikanisch		nur englisch	
Einheit	cu. in.	cu. ft.	US-liquid-quart	US-gallon	Imp. quart	Imp. gallon
1 cm^3	0,061 02	—	—	—	—	—
1 dm^3 (1)	61,02	0,035 31	1,057	0,264 2	0,88	0,22
1 m^3	61 023	35,31	1 057	264,2	880	220

Gewichte

Einheit	t	kg	g	dg	cg	mg
1 t (Tonne)	1	10^3	10^6	10^7	10^8	10^9
1 kg (Kilogramm)	10^{-3}	1	10^3	10^4	10^5	10^6
1 g (Gramm)	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^2	10^3
1 dg (Dezigramm)	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1	10	10^2
1 cg (Zentigramm)	10^{-8}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
1 mg (Milligramm)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1

Vergleiche mit englischen und amerikanischen Maßen

Einheit	dram	oz.	lb	short cwt.	long cwt.	short ton	long ton	gr	kg	t
1 dram	1	0,0625	0,003906	—	—	—	—	1,772	—	—
1 oz*)	16	1	0,0625	—	—	—	—	28,35	0,02835	—
1 lb*)	256	16	1	0,01	0,008929	—	—	453,6	0,4536	—
1 short cwt*) (US)	25600	1600	100	1	0,8929	0,05	0,04464	45359	45,36	0,04536
1 long cwt (GB, US)	28672	1792	112	1,12	1	0,056	0,05	59802	50,8	0,0508
1 short ton (US)	—	32000	2000	20	17,86	1	0,8929	—	907,2	0,9072
1 long ton (GB, US)	—	35840	2240	22,4	20	1,12	1	—	1016	1,016

Einheit	dram	oz	lb	short cwt	long cwt	short ton	long ton
1 g	0,5644	0,03527	0,002205	—	—	—	—
1 kg	564,4	35,27	2,205	0,02205	0,01968	—	—
1 t	—	—	2205	22,05	19,68	1,102	0,9842

*) oz = ounce; lb = pound (libre); cwt = hundredweight.

Maßeinheiten der Arbeit

Einheit	kgm	PSh	kcal	Erg	Joule (Ws)	kWh
1 kgm	1	$3{,}7 \cdot 10^{-6}$	$2{,}34 \cdot 10^{3}$	$9{,}81 \cdot 10^{5}$	9,81	$2{,}72 \cdot 10^{-6}$
1 PSh	$2{,}7 \cdot 10^{5}$	1	632	$2{,}65 \cdot 10^{11}$	$2{,}65 \cdot 10^{6}$	0,736
1 kcal	426,81	$1{,}58 \cdot 10^{-3}$	1	$4{,}186 \cdot 10^{10}$	4184,2	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$
1 Erg	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$3{,}78 \cdot 10^{-14}$	$2{,}39 \cdot 10^{-11}$	1	10^{-7}	$2{,}78 \cdot 10^{-14}$
1 Joule = (Wattsek.)	0,102	$3{,}78 \cdot 10^{-7}$	$2{,}39 \cdot 10^{-4}$	10^{7}	1	$2{,}78 \cdot 10^{-7}$
1 kWh	$3{,}67 \cdot 10^{5}$	1,36	860	$3{,}6 \cdot 10^{12}$	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1

Einheit	ft.lb.	erg	Joule (Ws)	mkg
1 ft.lb.	1	$1{,}356 \cdot 10^{7}$	1,356	0,1383
1 erg	$0{,}7376 \cdot 10^{-7}$	1	10^{-7}	$0{,}102 \cdot 10^{-7}$
1 Joule (Ws)	0,7376	107	1	0,102
1 mkg	7,233	$9{,}807 \cdot 10^{7}$	9,807	1
1 PSh (ch. h.) *)	$1{,}953 \cdot 10^{6}$	$26{,}48 \cdot 10^{12}$	$2{,}648 \cdot 10^{6}$	$270 \cdot 10^{3}$
1 HPh	$1{,}98 \cdot 10^{6}$	$26{,}85 \cdot 10^{12}$	$2{,}685 \cdot 10^{6}$	$273{,}8 \cdot 10^{3}$
1 kWh	$2{,}655 \cdot 10^{6}$	$36 \cdot 10^{12}$	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	$367{,}1 \cdot 10^{3}$
1 kcal **)	$3{,}087 \cdot 10^{3}$	$41{,}86 \cdot 10^{9}$	4186	426,9
1 BTU	778,6	$10{,}55 \cdot 10^{9}$	1055	107,6

1 frigorie (franz.) = 1 kcal; 1 thermie (franz.) = 1000 frigories = 1 „Tonnenkaloric“; 1 therm (engl.) = 10^{5} BTU.

*) Franz. Einheit.
**) 1 kcal = 1000 cal = Wärmemenge, die nötig ist, um bei 760 Torr 1 kg Wasser von 14,5° auf 15,5° zu erwärmen.

und amerikanischen Arbeits-Maßen

PSh (ch.h.)*)	HPh	kWh	kcal**)	BTU
$0{,}5121 \cdot 10^{-6}$	$0{,}505 \cdot 10^{-6}$	$0{,}3768 \cdot 10^{-6}$	$0{,}324 \cdot 10^{-3}$	$1{,}286 \cdot 10^{-3}$
$37{,}77 \cdot 10^{-15}$	$37{,}25 \cdot 10^{-15}$	$27{,}79 \cdot 10^{-15}$	$23{,}9 \cdot 10^{-12}$	$94{,}84 \cdot 10^{-12}$
$377{,}7 \cdot 10^{-9}$	$372{,}5 \cdot 10^{-9}$	$277{,}9 \cdot 10^{-9}$	$239 \cdot 10^{-6}$	$948{,}4 \cdot 10^{-6}$
$3{,}704 \cdot 10^{-6}$	$3{,}653 \cdot 10^{-6}$	$2{,}725 \cdot 10^{-6}$	$2{,}344 \cdot 10^{-3}$	$9{,}301 \cdot 10^{-3}$
1	0,9863	0,7355	632,5	2510
1,014	1	0,7457	641,3	2545
1,36	1,341	1	860	3413
$1{,}581 \cdot 10^{-3}$	$1{,}559 \cdot 10^{-3}$	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	1	3,968
$398{,}4 \cdot 10^{-6}$	$392{,}9 \cdot 10^{-6}$	$293 \cdot 10^{-6}$	0,252	1

Maßeinheiten der Leistung

Einheit	mkg/s	PS	cal/s	W	kW	erg/s
1 mkg/s	1	0,013 3	2,34	9,81	0,009 81	$0{,}102 \cdot 10^{-7}$
1 PS	75	1	176	735,5	0,735 5	$7{,}355 \cdot 10^{9}$
1 cal/s	0,427	0,005 68	1	4,18	0,004 18	$4{,}186 \cdot 10^{7}$
1 W	0,102	0,001 36	0,239	1	10^{-3}	10^{7}
1 kW	102	1,36	239	10^{3}	1	10^{10}

Vergleiche mit englischen und amerikanischen Leistungs-Maßen

Einheit	erg/s	W	mkg/s	PS (ch)	HP	kW	kcal/s	BTU/s
1 erg/s	1	10^{-7}	$0{,}102 \cdot 10^{-7}$	$0{,}136 \cdot 10^{-9}$	$0{,}1341 \cdot 10^{-9}$	10^{-10}	$23{,}9 \cdot 10^{-12}$	$94{,}84 \cdot 10^{-12}$
1 W	10^{7}	1	0,102	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	$1{,}341 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$239 \cdot 10^{-6}$	$948{,}4 \cdot 10^{-6}$
1 mkg/s	$9{,}807 \cdot 10^{7}$	9,807	1	$13{,}33 \cdot 10^{-3}$	$13{,}15 \cdot 10^{-3}$	$9{,}807 \cdot 10^{-3}$	$2{,}344 \cdot 10^{-3}$	$9{,}296 \cdot 10^{-3}$
1 PS (ch)	$7{,}355 \cdot 10^{9}$	735,5	75	1	0,9863	0,7355	0,1758	0,6972
1 HP	$7{,}457 \cdot 10^{9}$	745,7	76,04	1,014	1	0,7457	0,1782	0,7073
1 kW	10^{-10}	1000	102	1,36	1,341	1	0,239	0,9484
1 kcal/s	$41{,}86 \cdot 10^{9}$	4186	426,9	5,692	5,614	4,186	1	3,968
1 BTU/s	$10{,}55 \cdot 10^{9}$	1055	107,6	1,434	1,415	1,055	0,252	1

1 poncelet (franz.) = 100 mkg/s

Maßeinheiten des Drucks

Einheit	Atm (phys)	at (kg/cm²)	mm WS (kg/cm²)	mm QS bei 0° C = Torr	bar	mbar	µbar (dyn/cm²)	lb/sq. ft.	lb/sq. in.
Atm (physikalische Atmosphäre)	1	1,033	10 332	760	1,013	1 013	$1{,}013 \cdot 10^6$	2 116	14,7
at (techn. Atmosph.)	0,968	1	10^{-4}	735,6	0,981	980,7	$9{,}81 \cdot 10^5$	2 048	14,22
mmWS bei 4° C	$9{,}68 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	1	$7{,}4 \cdot 10^{-2}$	$9{,}8 \cdot 10^{-2}$	$9{,}8 \cdot 10^{-2}$	98,07	0,205	$1{,}42 \cdot 10^{-3}$
mmQS bei 0° = Torr	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	13,6	1	$1{,}33 \cdot 10^{-3}$	1,333	1 333	2,735	$1{,}93 \cdot 10^{-2}$
bar	0,987	1,02	10 197	750,1	1	10^3	10^6	2 088	14,5
mbar	$9{,}87 \cdot 10^{-4}$	$1{,}02 \cdot 10^{-3}$	10,2	0,75	10^{-3}	1	10^3	2,089	$1{,}45 \cdot 10^{-2}$
µbar (dyn/cm²)	$9{,}87 \cdot 10^{-7}$	$1{,}02 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	$7{,}54 \cdot 10^{-4}$	10^{-6}	10^{-3}	1	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}45 \cdot 10^{-5}$
lb/sq. ft. *)	$4{,}73 \cdot 10^{-4}$	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$	4,883	0,366	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$	0,46	478,8	1	$7 \cdot 10^{-3}$
lb/sq. in. *)	$6{,}8 \cdot 10^{-2}$	$7{,}03 \cdot 10^{-2}$	703,3	51,7	$6{,}9 \cdot 10^{-2}$	68,94	68940	144	1

*) lb = pound (libre)

Elektrische Maßeinheiten

Für:	Einheit	Kurzzeichen	Formelzeichen
Spannung	Volt Kilovolt Millivolt	V kV mV	U
Stromstärke	Ampere Kiloampere Milliampere	A kA mA	I (bzw. J)
Widerstand	Ohm Kiloohm Megohm Teraohm	Ω k M T	R
Leitfähigkeit	Siemens	S	G
Elektrizitätsmenge	Conlomb Amperestunde Amperesekunde	C Ah As	Q
Iuduktivität	Henry Millihenry Mikrohenry	H mH μH	L
Kapazität	Farad Mikrofarad Pikofarad	F μF pF	C
Leistung	Watt Kilowatt Blindkilowatt Voltampere Kilovoltampere	W kW BkW VA kVA	N
Arbeit	Wattstunde Wattsekunde (Joule) Kilowattstunde	Wh Ws kWh	A
Frequenz	Hertz *) Kilohertz Megahertz	Hz kHz MHz	f

*) englisch: cycle (c), kilocycle (kc), megacycle (Mc).

Umrechnungstabelle für Kapazitätsmaße

Einheit	F	µF	nF	pF	cm
1 F (Farad)	1	10^{6}	10^{9}	10^{12}	$0{,}9 \cdot 10^{12}$
1 µF (Mikrofarad)	10^{-6}	1	10^{3}	10^{6}	$0{,}9 \cdot 10^{6}$
1 nF (Nanofarad)	10^{-9}	10^{-3}	1	10^{3}	$0{,}9 \cdot 10^{3}$
1 pF (Pikofarad)	10^{-12}	10^{-6}	10^{-3}	1	0,9
1 cm (Zentimeter)	$1{,}11 \cdot 10^{-12}$	$1{,}11 \cdot 10^{-6}$	$1{,}11 \cdot 10^{-3}$	1,1	1

Umrechnungstabelle für Induktivitätsmaße

Einheit	H	mH	µH	cm
1 H (Henry)	1	10^{3}	10^{6}	10^{9}
1 mH (Millihenry)	10^{-3}	1	10^{3}	10^{6}
1 µH (Mikrohenry)	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{3}
1 cm (Zentimeter)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

Maßeinheiten des Magnetismus

Für:	Einheit	Kurzzeichen	Formelzeichen
Magnetische Feldstärke	Ampere/cm	A/cm	$\mathfrak{H}$
Magnetische Spannung	Ampere	A	V
Magnetische Induktion	Weber/cm²	Wb/cm²	$\mathfrak{B}$
Magnetischer Induktionsfluß	Weber	Wb = Vs	Φ

Zusammenstellung einiger Formeln aus dem Gebiete der Akustik (alphabetisch)

Schalldichte

$$E = \frac{J}{c}$$

Maßeinheit $\cdot\, s \cdot cm^{-3}$

für Luft ist $E = 7{,}03 \cdot 10^{-14} \cdot p^2$ (p = Druck in μbar)

Schalldruck

$$p = s \cdot \mathfrak{Z}$$

s = Schallschnelle
$\mathfrak{Z}$ = Schallwellenwiderstand

Maßeinheit: μbar.

Schallgeschwindigkeit

a) *in Gasen*

$$c = \sqrt{\frac{x \cdot P_0}{\varrho_0}}$$

darin bedeuten

P_0 = Gasdruck im Gleichgewichtszustand
ϱ_0 = Dichte des Gases
$x = \frac{c_p}{c_v}$ = Verhältnis der spezifischen Wärme

b) *in Luft* (bei verschiedenen Temperaturen)

$$c = 330 \pm 0{,}6 \cdot t^0$$

t^0 = Temperatur in Celsiusgraden

c) *in Füssigkeiten*

$$c = \sqrt{\frac{1}{K \cdot \varrho_0}}$$

K = Kompressibilität

d) *in festen Körpern*

$$c = \sqrt{\frac{E}{\varrho}}$$

E = Elastizitätsmodul

Maßeinheit für $c = cm \cdot s^{-1}$

Schallschnelle

$$s = \frac{p}{\mathfrak{Z}}$$

p = Schalldruck
$\mathfrak{Z}$ = Schallwellenwiderstand

Maßeinheit: $cm \cdot s^{-1}$

Schallstärke (Schallintensität)

$$J = \frac{p^2}{\mathfrak{Z}}$$

(gültig nur für fortschreitende Wellen)

Maßeinheit: Watt/cm^2

$$\text{Für Luft ist } J = \frac{p^2\ \mu bar}{41{,}5} \cdot 10^7$$

Schallwellenwiderstand

$$\mathfrak{Z} = \varrho \cdot c \cdot \cos \varphi = \frac{p}{s}$$

für ebene Wellen $\varphi = 0$; $\cos \varphi = 1$

$$\text{für Kugelwellen } \operatorname{tg} \varphi = \frac{\lambda}{2\pi r}$$

(λ = Wellenlänge, r = Entfernung von der Schallquelle)

Im Abstand λ wird $\cos \varphi$ praktisch gleich 1.

Maßeinheit: $g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$

Literaturverzeichnis

Elektroakustisches Taschenbuch bearb. von Ing. Hans Heyda, Jakob Schneider Verlag, Berlin, Tempelhof 1947

Technische Akustik von E. Waetzmann, W. Wein und F Harms, Leipzig 1934

Wellentheoretische Raumakustik von Dr. Lothar Cremer Hirzel, Leipzig 1950

Elektrische Klangerzeugung von Werner Meyer-Eppler, Ferdinand Dümmler, Bonn 1950

Grimsehls Lehrbuch der Physik, B.-G. Teubner, Leipzig und Berlin

F. Trendlenburg. Einführung in die Akustik, Springer 1949

Siehe ferner die Bändchen aus der „Radio-Praktiker-Bücherei":

7. **Neuzeitliche Schallfolienaufnahme** von Fritz Kühne

8. **Vielseitige Verstärkergeräte für Tonaufnahme u. Wiedergabe** von Fritz Kühne

9. **Magnetbandspielpraxis** von Wolfgang Junghans

11. **Mikrofone** von Fritz Kühne

26. **Tonstudio-Praxis** von Fritz Kühne

alle FRANZIS-VERLAG München



Gesamtverzeichnis für Nr. 1 bis 36

Zu beziehen durch jede Buch- oder Fachhandlung oder direkt vom
FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN

Die neue U-Röhren-Reihe und ihre Schaltungen. Nr. 1
Von Hans Sutaner.
Mit 50 Bildern und Schaltungen. Der Techniker und Funkpraktiker findet hier alles Wissenswerte über die neuen U-Röhren mit Außenkontaktsockel, und er erhält vor allem eine erprobte Auswahl von Schaltungen mit diesen Röhren: Ein- und Zweikreiser, Superhets für Allstrom mit 4 bis 6 Kreisen in den verschiedensten Variationen.

Rimlock- und Pico-Röhren und ihre Schaltungen. Nr. 2
Von Dr. A. Renardy.
Technische Einzelheiten über die neuen Kleinröhren, die in Zukunft den Markt weitgehend beherrschen werden, und über ihre Schaltungen.

UKW-FM-Rundfunk in Theorie und Praxis. Nr. 3
Von Ingenieur Herbert G. Mende.
Mit 35 Bildern und 4 Tabellen. Warum UKW-Rundfunk, warum FM? Das Heft führt in die grundsätzlichen Vorteile des UKW-FM-Rundfunks ein, behandelt die Sendetechnik und die Antennen und gibt eine ausführliche Darstellung der Bausteine des UKW-FM-Empfängers. Für Fachleute und Liebhaber gleich lesenswert.

UKW-Empfang mit Zusatzgeräten. Von Ing. Herbert G. Mende. Nr. 4
Mit 16 Bildern und 9 Tabellen. Das UKW-Zusatzgerät ist für die vorhandenen Empfänger bestimmt, es ermöglicht ihnen die Aufnahme der UKW-Rundfunksender. Das vorliegende Bändchen behandelt mit erfreulicher Gründlichkeit die schaltungstechnischen und aufbaumäßigen Voraussetzungen für den Bau von UKW-Zusatzgeräten und bringt anschließend eine Auswahl erprobter Schaltungen. Darunter finden wir Audion- und Pendelgeräte wie hochwertige Zusatzgeräte nach dem Superhet-Prinzip.

Superhets für UKW-FM-Empfang. Von Ing. Herbert G. Mende. Nr. 5
Will man die Vorteile der frequenzmodulierten Ultrakurzwelle voll ausnützen, also höchste Wiedergabegüte und Störungsfreiheit erzielen, so verwendet man einen UKW-FM-Superhet. Seine Technik behandelt der vorliegende Band.

Antennen für Rundfunk- und UKW-Empfang. Nr. 6
Von Ingenieur Herbert G. Mende.
Mit 30 Bildern und 5 Tabellen. Das moderne Antennenbuch, den Interessenten in der Fachsprache ansprechend, bei dem das Hauptgewicht auf die wissenswerten Zusammenhänge zwischen äußerer Form und elektrischem Verhalten der Antennen gelegt wurde. Eine Fülle von Unterlagen enthalten die umfassenden Antennen-Tabellen dieses Buches, das sich im übrigen mit Antennen jeder Art, für Rundfunk-, UKW und Dezimeterwellen, befaßt.

Neuzeitliche Schallfolienaufnahme. Von Ingenieur Fritz Kühne Nr. 7
Mit 39 Bildern. Eine Darstellung der neuesten Technik der Schallfolienaufnahme oder — wie man sie früher nannte — der „Schallplatten-Selbstaufnahme". Sie ist mit den Erfahrungen eines langjährigen Praktikers auf diesem Spezialgebiet angefüllt und so für Fachleute und Liebhaber gleich lesenswert.

Vielseitige Verstärkergeräte für Tonaufnahme und Wiedergabe. **Nr. 8**
Von Ingenieur Fritz Kühne.
Mit 36 Bildern. Tonaufnahme und Wiedergabe sind in erster Linie eine Frage leistungsfähiger und verzerrungsfreier Verstärker. Diese Technik findet hier vom Standpunkt des Praktikers aus eine eingehende Darstellung. Wir lernen zahlreiche erprobte Verstärkerschaltungen kennen und werden — was noch wichtiger ist — mit den Eigenschaften der Verstärker, der Wirkungsweise ihrer Stufen und Schaltelemente, aber auch mit den zahlreichen Spezialentwicklungen (Mikrofon-, Fotozellen-, Tonabnehmer-, Schreiber-, Mischpultverstärker usw.) vertraut gemacht.

Magnetbandspieler-Praxis. Von Ingenieur Wolfgang Junghans. **Nr. 9**
Mit 36 Bildern und 3 Tabellen. Wer sich mit dem Selbstbau eines Magnetbandspielers befassen will, muß die Technik der magnetischen Tonaufzeichnung in ihrer Gesamtheit beherrschen. Die physikalischen Grundlagen des Ferromagnetismus, der Aufsprech- und Abhörvorgang, das Hochfrequenzverfahren, die Magnetköpfe, das Doppelspurverfahren, Bandgeschwindigkeiten, Bandsorten und Laufwerke und alle anderen Fragen werden in 13 Kapiteln ausführlich behandelt.

Selbstbau eines einfachen Magnetbandspielers. **Nr. 10**
Das vorliegende Bändchen beschäftigt sich mit dem Selbstbau eines Magnetbandspielers, teilweise aus industriellen, teils aus selbstgefertigten Teilen.

Mikrofone, Aufbau, Verwendung und Selbstbau. **Nr. 11**
Von Ingenieur Fritz Kühne.
Mit 38 Bildern und 2 Tabellen. Die verschiedenen Bauarten von Mikrofonen, ihre Schaltung und Verwendung werden eingehend beschrieben, desgl. solche Mikrofon-Typen, die sich für den Selbstbau eignen. Besonders wertvoll sind die in dem Band vermittelten praktischen Erfahrungen, die sich aus jahrzehntelangem Arbeiten mit den verschiedensten Mikrofonarten ergeben. Die Hauptkapitel befassen sich mit Kohle-, Kondensator-, Kristall-, dynamischen und magnetischen Mikrofonen.

Röhrenmeßgeräte in Entwurf und Aufbau. **Nr. 12**
Die Grundlagen des Röhrenmessens und die Schaltungen erprobter Röhrenmeßgeräte werden genau so ausführlich behandelt, wie der Aufbau eines bewährten Universal-Röhrenmeßgerätes.

Schliche und Kniffe für Radiopraktiker. Von Ing. Fritz Kühne. **Nr. 13**
Mit 57 Bildern. Dieses Buch bietet eine Sammlung der wertvollen Erfahrungen in Werkstatt und Labor, die dem praktisch tätigen Radiotechniker und Amateur bei seiner Arbeit nützlich sind. „Schliche und Kniffe", einst ein geflügeltes Wort einer sehr begehrten Rubrik der FUNKSCHAU, fanden hier ihren Niederschlag im praktischen Taschenbuch-Format.

Geheimnisse der Wellenlängen. Von Gustav Büscher. **Nr. 14**
Mit vielen Bildern. Eine Einführung in die Wellenphysik, flüssig und amüsant geschrieben, leicht verständlich und doch gründlich, die Geheimnisse der Strahlen und Schwingungen erklärend. Ein Buch, das vor allem unsern jungen Freunden Freude machen wird.

Moderne Zweikreis-Empfänger. Von Hans Sutaner. **Nr. 15**
Mit 43 Bildern und Schaltungen. Der Zweikreiser lebt, und wie er lebt, das beweist dieses Buch, das ganz ihm gewidmet ist. Wer sich praktisch in die Radiotechnik „einarbeiten" will, wird am Zweikreiser nicht vorübergehen können, bietet er doch wie kaum eine andere Schaltung die Möglichkeit, Erfahrungen im Empfängerbau zu sammeln. Daß der Zweikreiser daneben ein höchst empfindliches, zuverlässiges und klangschönes Gerät ist, macht ihn für den Selbstbau noch begehrter. Der vorliegende RPB-Band enthält 13 bewährte Zweikreiser-Schaltungen mit ausführlicher Beschreibung.

Widerstandskunde für Radiopraktiker. **Nr. 16**
Von Dipl.-Ingenieur Georg Hoffmeister.
Mit 9 Bildern, 4 Nomogrammen und 6 großen Zahlentafeln. Mit Widerständen hat der Radiopraktiker ständig zu tun. Die Widerstandskunde unterrichtet über Aufbau, Berechnung, Schaltung, kurz über alle Themen, die in der Radiotechnik mit Widerständen zusammenhängen.

Prüfsender für UKW-Empfänger. **Nr. 17**
Von Dipl.-Ing. Rudolf Schiffel und Ing. Fritz Woletz.
Selbstbau und Selbsteichung. **UKW - Meßgeräte Teil 1.** Mit 57 Bildern. Der UKW-Rundfunk stellt auch an die Instandsetzer neue und besondere Anforderungen. Um für die Prüfung und Instandsetzung von UKW - Geräten gerüstet zu sein, werden Spezial - Meßgeräte benötigt, mit deren Entwurf, Bau und Eichung sich der vorliegende Band befaßt.

Radio-Röhren. Von Ingenieur Herbert G. Mende. **Nr. 18/19**
Wie sie wurden, was sie leisten, und anderes, was nicht im Barkhausen steht. 128 Seiten mit 65 Bildern. **Doppelband.** So bequem die Eigenschaften der Radioröhren in Tabellen und Kurven ablesbar sind, so wenig ist ihren Verwendern gewöhnlich über den inneren Aufbau, ihre Technologie und Herstellung bekannt. In dieses hochinteressante Gebiet einzuführen, hat sich der vorliegende Doppelband der RPB zur Aufgabe gemacht. Er ist damit eine lesenswerte Ergänzung zu jedem Röhrenwerk, schafft er doch die „persönlichen Beziehungen" zu den Röhren, ohne die eine erfolgreiche Röhrenverwendung nicht möglich ist.

Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern. **Nr. 20**
Von Dr. A. Renardy.
Mit 16 Bildern. Das Reparieren von Rundfunkempfängern und vor allem die Fehlersuche gleichen manchmal dem Überlisten eines Tieres, wie es der Jäger tun muß. Das ist das Leid, aber auch die Freude des Berufes eines Rundfunkmechanikers. Die Spielregeln dieses Überlistens enthält das vorliegende Buch, d. h., es behandelt die Spannungs-, Strom- und Widerstandsanalyse, die Signalzuführung und Signalverfolgung, die Fehlersuche mit dem Katodenstrahl-Oszillograf und die Hilfsmethoden der Fehlersuche.

Funktechniker lernen Formelrechnen auf kurzweilige, launige Art. **Nr. 21**
Von Fritz Kunze. Band I. Mit 22 Bildern. Ein leichtverständlicher mathematischer Lehrgang für Rundfunkmechaniker, Prüfer, Bastler, Rundfunkhändler und -verkäufer — eine interessante Algebra-Wiederholung für Funktechniker und eine ausführliche Gebrauchsanleitung für den Rechenschieber.

Lehrgang Radiotechnik Teil I. Von Ferdinand Jacobs. **Nr. 22/23**
128 Seiten mit 132 Bildern und 3 Tabellen. **Doppelband.** Eine Einführung in die Radiotechnik, für Schüler und Lehrlinge, Liebhaber und werdende Fachleute gedacht, die sich besonders durch eine gründliche, langsam fortschreitende Darbietung des Stoffes auszeichnet, die jedem ohne Vorkenntnisse, nur mit den Grundlagen der Elektrizitätslehre vertraut, ein Studium ermöglicht.

Lehrgang Radiotechnik Teil II. Von Ferdinand Jacobs. **Nr. 24/25**
Der 2. Teil des radiotechnischen Lehrgangs erscheint Mitte bis Ende 1951.

Tonstudio-Praxis. Von Ingenieur Fritz Kühne. **Nr. 26**
Mit 37 Bildern und 3 Tabellen. Die Studiopraxis der Schallaufnahme verlangt eine Beherrschung der Entzerrungs- und Meßtechnik. Die Kenntnis dieser Spezialgebiete vermittelt dieses neue Buch von Kühne; es befaßt sich daneben mit der Anwendung der Magnetbandaufnahme und des UKW-Handfunks für die Studiopraxis.

Rundfunkempfang ohne Röhren. Vom Detektor zum Transistor. **Nr. 27**
Von Ingenieur Herbert G. Mende.
Mit 38 Bildern und 5 Tabellen. Seit es Röhren gibt, hat es nicht an Versuchen gefehlt, Rundfunkempfang auch ohne diese zu erzielen. Der Detektorempfänger hat sich nicht nur bis in unsere Tage gehalten, sondern er hat zu den klassischen Wellenbereichen auch den Kurz- und Ultrakurz-Bereich erobert. Ihm gesellten sich jetzt Germanium-Dioden, Varistoren und Transistoren, Fieldistor und Kristalltetroden zu. Mit dem Detektorempfänger einerseits und den modernsten Kristallsystemen andererseits befaßt sich der vorliegende Band, wobei Schaltung und Verwendung im Vordergrund stehen.

Die Glimmröhren und ihre Schaltungen. **Nr. 28**
Von Otto-Paul Herrnkind.
Mit 69 Bildern. In der modernen Empfangs- und Meßtechnik spielt die Glimmlampe eine große Rolle, sei es als Signal- und Kontrollinstrument, sei es für Meßanzeige, Erzeugung von Kippschwingungen, für die Oszillografie oder andere Zwecke. Arten, Aufbau und Arbeitsweise der Glimmröhren, ihre Schaltungen und ihre praktische Anwendung werden in diesem sehr reich bebilderten Band ausführlich beschrieben.

Kleines ABC der Elektroakustik. Von Gustav Büscher. **Nr. 29/30**
Mit 120 Bildern. **Doppelband.** Die Elektroakustik ist keineswegs auf den Rundfunk beschränkt, sondern sie ist in alle Gebiete unseres Lebens eingedrungen. Die Beherrschung der elektroakustischen Maßsysteme und Grundbegriffe ist deshalb für viele nützlich; für die Angehörigen des Radiofaches, der Schallplatten-, Tonfilm- und Tonaufnahmetechnik ist sie unerläßlich. In Form eines kleinen Taschenlexikons werden hier alle Fachausdrücke und Begriffe ausführlich erklärt, ja es wird ein überaus gründlicher Abriß der verschiedenen elektroakustischen Gebiete gegeben.

Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure. **Nr. 31/32**
Von Ingenieur W. H. Steinhauser.
Mit 56 Bildern. **Doppelband.** Dies ist das von zahlreichen Amateuren immer wieder gewünschte Schaltungs- und Konstruktionsbuch für moderne Amateursender. Es ist umfassend und gründlich, und was das Wertvollste ist: es entstand aus dem großen Erfahrungsschatz eines Senderkonstrukteurs und KW-Amateurs. Das Buch enthält Sender der für Amateurzwecke zugelassenen Leistungen und für alle Bänder in ausgereiften Konstruktionen; bei fast telegrammstilartiger Darstellung gibt es eine ungeheure Fülle von Tatsachen, Daten und Unterlagen, wie sie manches dickleibige Werk nicht vermittelt. Eine wirkliche Fundgrube für die Amateure und alle, die es werden wollen.

Röhrenvoltmeter. Von Ingenieur Otto Limann. Mit 60 Bildern. **Nr. 33**
Röhrenvoltmeter, ausgezeichnet durch sehr hohen Eingangswiderstand und großen Frequenzumfang, haben in der Hoch- und Niederfrequenzmeßtechnik große Bedeutung erlangt. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit den grundsätzlichen Eigenschaften und den technischen Ausführungsformen der verschiedenen Arten. Das Buch interessiert den Werkstattpraktiker und den Meßtechniker in gleicher Weise, vor allem, da es in jedem Abschnitt — wie bei Limann selbstverständlich — wertvolle praktische Erfahrungen vermittelt.

Einzelteilprüfung. Von Ingenieur Otto Limann. **Nr. 34**
Mit 42 Bildern und 3 Tabellen. Es ist die Aufgabe des Buches, zu zeigen, daß sich auch mit einfachen Mitteln, wie sie in jeder Fachwerkstatt vorhanden sind, zuverlässige Prüfungen von Widerständen, Kondensatoren, Spulen und Transformatoren durchführen lassen. Keine komplizierten Aufbauten, sondern billige, einfache Prüfschaltungen lernt der Leser kennen, bauen und verwenden.

Wegbereiter der Funktechnik. Von Willy Möbus. Nr. 35
Dies Buch ist den Männern gewidmet, die im Laufe von 150 Jahren Stein auf Stein zu dem stolzen Gebäude der Funktechnik fügten. Es enthält Kurzbiografien von Faraday, Maxwell, Hertz, von Marconi, Slaby, Arco, von Lieben, Meißner, Nipkow und vielen anderen, deren Genie wir das heutige stolze Gebäude der Radio- und Fernsehtechnik verdanken.

Die Prüfung des Zwischenfrequenz-Verstärkers und Diskriminators beim UKW-Empfänger. **Nr. 36**
Von Dipl.-Ing. Rudolf Schiffel und Ing. Fritz Woletz.
UKW-Meßgeräte Teil 2. Mit 50 Bildern. In Fortsetzung von Nr. 17 der RPB behandelt dieser Band die Prüfmittel für den Zf-Teil des UKW-Empfängers und für den Diskriminator. Er beschreibt den Entwurf und Bau eines gewobbelten Prüfsenders für 10,7 MHz sowie die Anwendung desselben zusammen mit einem Kurvenschreiber mit Braunscher Röhre.